

DER THERMOSTIMULATOR
EIN GERÄT FÜR DIE ERWEITERTE ANWENDUNG DER
KALORISCHEN LABYRINTHREIZUNG

GEORG BAUR

1979



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551927_0024

Gesamtherstellung

Blasaditsch GmbH • 89 Augsburg 17 • Theodor-Heuß-Platz 3 • Telefon (0821) 51 85 63

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals- Nasen- und Ohrenkranke
der Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. H.H. Naumann

DER THERMOSTIMULATOR

EIN GERÄT FÜR DIE ERWEITERTE ANWENDUNG DER

KALORISCHEN LABYRINTHREIZUNG

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Georg Baur

aus

Konradshofen

1978

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der Universität München

Berichterstatter: PD Dr. med. Hans Scherer

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. H.H. Naumann

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 22.3.1979



INHALTSVERZEICHNIS

Teil	I. <u>EINFÜHRUNG</u>	Seite
	Zur Theorie der thermischen Vestibularis- prüfungen	5
Teil	II. <u>DIE KALORISCHE LABYRINTHREIZUNG</u>	
	1. Techniken der kalorischen Labyrinthreizung	7
	2. Methoden, eine direkte Untersuchung mit Wasser zu umgehen	7
	a. Äthylchlorid, Äther	7
	b. Dreh- und Pendelstühle	8
	c. Verwendung von Luft	9
	d. Methode nach Eviatar-Goodhill	10
Teil	III. <u>VORSTELLUNG DES THERMOSTIMULATORS</u>	
	1. Aufbau und Funktionsweise	13
	2. Material	15
	3. Technische Daten	16
Teil	IV. <u>UNTERSUCHUNGEN AM KÜNSTLICHEN GEHÖRGANG</u>	
	1. Versuchsaufbau	20
	2. Fragestellung	21
	a. Maßnahmen zur Verbesserung der Tempe- raturleitfähigkeit	22
	b. Einfluß der Gehörgangsweite	24
	c. Einfluß verschiedener Thermostimulator- exemplare	28
	d. Einfluß des Drucks	32

Teil V. KLINISCHE UNTERSUCHUNGEN

1. Orientierende Versuche an Normalpersonen	35
a. Vergleich der herkömmlichen und der neuen Methode bei Variation der Temperatur	36
b. Vergleich bei Variation der Reizdauer	39
2. Zielversuch an Normalpersonen	52
a. Vergleich der herkömmlichen Methode nach Hallpike - Thermostimulator	52
b. Untersuchungen zu Habituationsvorgängen	60

Teil VI. ZUSAMMENFASSUNG

Literaturübersicht	71
	77

E I N F Ü H R U N G

Zur Theorie der thermischen Vestibularisprüfungen

BROWN-SEQUARD (1860) und BREUER (1889) haben zuerst entdeckt, daß in das Ohr eingebrachtes kaltes Wasser Schwindel, Fallneigung und Nystagmus zur Folge hat. 1906 veröffentlichte BARANY seine Mitteilung über die kalorische Reaktion des Labyrinths (Abb. 1). Danach kommt es bei Kalt- oder Warmspülung (1) des Gehörgangs (2) zu einer Temperaturveränderung in den angrenzenden Teilen des Felsenbeins. Die Temperaturänderung wird im wesentlichen über den knöchernen Anteil des Felsenbeines weitergeleitet (Pfeile). Als erstes wird der horizontale Bogengang (3) im Bereich seiner am weitesten lateral gelegenen Konvexität von der sich ausbreitenden Temperaturänderung getroffen. In der Endolymphe treten Änderungen des spezifischen Gewichts auf, das durch Abkühlung zunimmt, durch Erwärmung dagegen abnimmt. Steht der horizontale Bogengang senkrecht wie in Abb. 1 (Optimumstelle nach BRÜNINGS bei Kopfhaltung 60° nach oben beim sitzenden Patienten), so sinkt bei Kühlung die schwerer gewordene Endolymphe im lateralen Schenkel des Bogengangs ab. Es kommt zu einer Kreisbewegung der Endolymphe. Diese Kreisbewegung ist bei einem Warmreiz entgegengesetzt gerichtet. Die Optimumstellung nach BRÜNINGS ist folglich die Kopfstellung, in der selektiv der horizontale Bogengang gereizt wird.

In der Ampulle, einer kuppelartigen Erweiterung des Bogengangs, befindet sich die Crista ampullaris, eine im Querschnitt dreieckförmige Leiste, die aus Haar- und Stützzellen besteht. Auf der Crista ampullaris sitzt die Cupula (4), ein glasklares, gallertartiges Gewebe, das die Ampulle wie eine Schwingtür endolymphdicht verschließt. Da die Wölbung des Ampullendaches annähernd einen Halbkreis um die Crista bildet, ist das System auch dann noch endolymphdicht, wenn die Cupula gekippt wird. Jede Endolymphströmung führt notwendigerweise zu einer Ablenkung der Cupula, da wegen des endolymphdichten Verschlusses die Cupula mit der Endolymphe mechanisch gekoppelt ist. Von den Sinneszellen der Crista ampullaris ragen Haarfortsätze

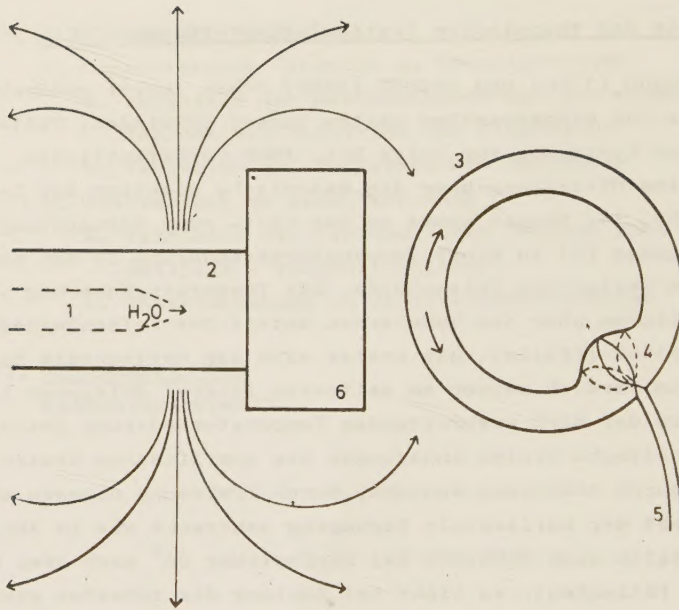


Abb. 1: Schema der kalorischen Gleichgewichtsreizung

- 1 = Irrigator; 2 = Gehörgang;
- 3 = horizontaler Bogengang; 4 = Cupula;
- 5 = N. Vestibularis; 6 = Mittelohr.

(Cilien) parallel in die Cupula. Sie werden bei einer Cupula-bewegung tangential abgeschert. DOHLMANN hat festgestellt, daß eine Versetzung der Cupula zur Seite besonders wirksam ist. Die Abscherung stellt den adäquaten Reiz für die Bildung eines Generatorpotentials dar, das die Ruhefrequenz der Aktionspotentiale im n. vestibularis (5) moduliert.

DIE KALORISCHE LABYRINTHREIZUNG

1. Techniken der kalorischen labyrinthreizung

In der Pessimumstellung nach BRÜNINGS (d. h. Kopf 30° nach vorn geneigt), bei Horizontalstellung des lateralen Bogenganges, bleibt die Temperatureinwirkung wirkungslos, weil sich die Endolymphe nicht in Bewegung setzen kann. Nach VEITS und KOSEL wird bei um 30° nach vorn geneigtem Kopf gespült und anschließend der Kopf aufgerichtet und um 60° nach rückwärts geneigt (Optimumstellung nach BRÜNINGS). Bei der Technik von HALLPIKE wird die Untersuchung im Liegen vorgenommen; dabei ist der Oberkörper um 30° angehoben. Der horizontale Bogengang steht dabei von vornherein senkrecht. In 40 Sekunden werden ca. 250 ml Wasser durch den Gehörgang gespült. Die Wassertemperatur beträgt dabei 30°C für die Kaltspülung und 44°C für die Warmspülung.

Bei Perforationen des Trommelfells kann die Kalorisation mit Wasser nicht durchgeführt werden, weil Wasser und damit auch Krankheitserreger ins Mittelohr gelangen könnten. Außerdem wären die Reaktionen auf der gesunden Seite mit der kranken Seite nicht vergleichbar, weil das ins Mittelohr gelangte Wasser den lateralen Bogengang direkt reizt, wodurch der Reiz stärker wird als auf der Gegenseite und auch ohne zeitliche Latenz auftritt. Den Versuchen, das Wasser daran zu hindern, durch einen Trommelfelldefekt in das Mittelohr zu gelangen oder das Wasser als temperierendes Medium durch ein anderes Medium zu ersetzen, kommt daher eine große Bedeutung zu. Nicht zuletzt deshalb, weil gerade in den Fällen, in denen eine herkömmliche thermische Prüfung nicht möglich ist, eine solche von entscheidender diagnostischer Bedeutung wäre.

2. Methoden, eine direkte Untersuchung mit Wasser zu umgehen

Äthylchlorid, Äther.

Schon um 1900 hatte in Wien NEUMANN entdeckt, daß Äther Nystagmus auslöst. Zum Teil wird heute ein mit Äther getränkter Wattebausch in den Gehörgang eingebracht (PHILIPPSZON).

Dieser bewirkt dann eine Abkühlung des Gehörgangs. Der entscheidende Nachteil dieser Methode besteht darin, daß nur ein Kaltreiz gesetzt wird. Ein Labyrinth nämlich kann untererregbar sein, so daß durch Tonusdifferenz ein Richtungsüberwiegen nach der anderen Seite zustande kommt. Die infolge der Untererregbarkeit an sich schwächer zu erwartende Reaktion zur Gegenseite (nach dem Kaltspülen) wird durch eben dieses Richtungsüberwiegen zur gesunden Seite verstärkt. Endeffekt: nach beiden Seiten liegen bei einem reinen Kaltreiz gleichstarke Reaktionen vor, man ist allzu leicht verleitet, die Schlußfolgerung zu ziehen, daß keine Vestibularisstörung vorliegt. Wenn dieser Befund aber durch Warmspülungen kontrolliert wird, wird der Fehler aufgedeckt, denn nun fällt die auf der schlechter erregbaren Seite ausgelöste Reaktion auch merklich schwächer aus als die Reaktion zur anderen Seite.

PHILIPPSZOOM umgeht die Tatsache, daß nur ein Kaltreiz gesetzt werden kann und somit bei normaler Lagerung ein Nystagmus nur in einer Richtung provoziert wird dadurch, daß er den Patienten einmal in Rückenlage und einmal in Bauchlage untersucht. Weitere Nachteile dieser Methode liegen darin, daß nur qualitative Ergebnisse erwartet werden können, weil die wirksame Kälte von der Größe des Wattebauschs, der enthaltenen Äthermenge und der Einwirkungszeit abhängt. Außerdem kann Äther durch eine Perforation ins Mittelohr laufen, was bei entzündlich veränderter Schleimhaut Schmerzen bereitet.

Dreh- und Pendelstühle.

Sie erlauben eine physiologische, genau abmessbare Reizapplikation, die unabhängig von einer Erkrankung des Ohres anzuwenden ist. Der größte Nachteil besteht aber darin, daß bei jeder Reizapplikation immer beide Labyrinth gleichzeitig gereizt werden. So kann über die Leistung eines einzelnen Labyrinths nichts ausgesagt werden. Auch ein totaler Ausfall eines Gleichgewichtsorgans kann nicht sicher erkannt werden, da sich Nervenbahnen im Gleichgewichtskerngebiet kreuzen und außerdem die zentrale Kompensation zu einem Ausgleich der rotatorischen Differenz führt.

Verwendung von Luft.

Gegenüber Äther hat diese Art und Weise der Irrigation den Vorteil, daß Kalt- und Warmreize gesetzt werden können. Der größte Nachteil besteht aber darin, daß nur schwer quantitative Ergebnisse zu erhalten sind (CAPPS, BILLET, AANTAA). Als erster benutzte RUTTIN 1922 bei Trommelfelldefekten Luft als Reizmedium. 1944 beschrieb FRENZEL diese Methode. ALBERNAZ und GANANCA verwendeten Luft von Zimmertemperatur, die sie über einen Blasebalg oder einen Kompressor ins Ohr bliesen. Erst in den letzten Jahren kamen Geräte zur Entwicklung, bei denen Luftmenge und Temperatur genau einzustellen sind. Bei Kaltreiz kommt als Temperaturbereich $25 - 35^{\circ}\text{C}$ und bei Warmreiz ein Temperaturbereich von $40 - 50^{\circ}\text{C}$ zur Anwendung. Um Werte zu erhalten, die einer Wasserkaltreizung von 30°C entsprechen, ist nach den Angaben von ESTELRICH ein Luftstrom von 28°C 30 Sekunden lang mit einer Stärke von 6 l/min zu applizieren, während laut CAPPS eine Temperatur von 24°C erforderlich ist. Eine äquivalente Warmreizung zu 44°C Wassertemperatur konnte auch mit 50°C Lufttemperatur nicht erreicht werden. Luft hat eine sehr geringe Wärmekapazität, weil es technisch betrachtet ein Isolator ist. Es muß folglich ein großes Luftvolumen zur Reizung verwendet werden. Große Nachteile hat diese Methode aber auch, wenn sie wie empfohlen bei Trommelfelldefekten angewendet wird:

- a. Wenn die kalte oder heiße Luft in den Gehörgang geblasen wird, gelangt sie durch das Loch im Trommelfell in das Mittelohr und kommt dort direkt mit dem lateralen Schenkel des horizontalen Bogengangs in Berührung. Die ersten Nystagmusschläge tauchen deshalb im Vergleich zum anderen Ohr verfrüht auf, da die Temperaturausbreitung nicht über das Felsenbein zum Labyrinth erfolgt, sondern direkt. Außerdem wird durch den direkten Angriff der Reiz erheblich stärker als am gesunden Ohr, und so eine Übererregbarkeit vorgetäuscht.
- b. Die Reizantwort ist überdies abhängig von der Größe des Trommelfelldefektes. Da die Reizstärke auch von der Luft-

menge abhängig ist, die ins Mittelohr gelangt, ist der Reiz umso größer, je größer der Trommelfelldefekt ist.

Verwendung eines Gummifingerlings bei Wasserspülung
EVIATAR A. und GOODWILL V. entwickelten eine Methode, bei der sie zur kalorischen Reizung einen Gummifingerling aus Latex benutzen (siehe Abb. 2).

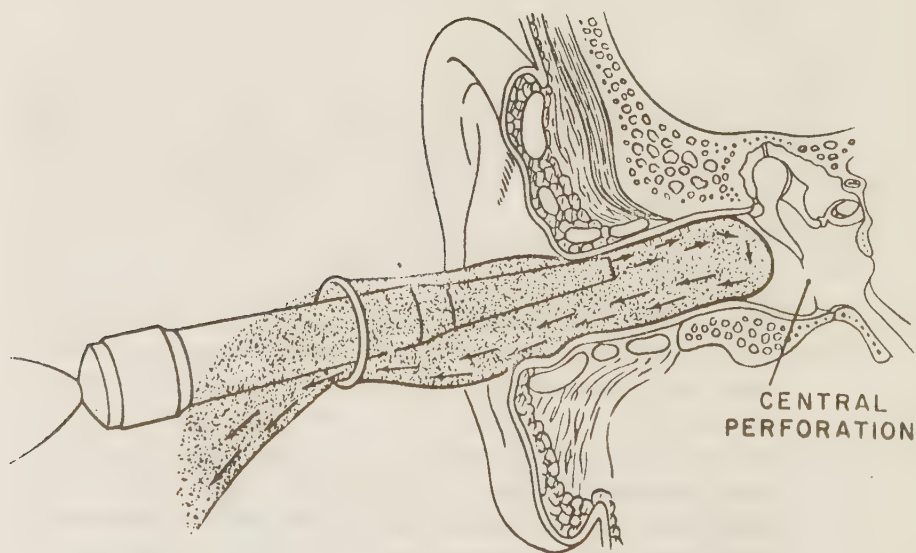


Abb. 2: Indirekte Gehörgangsspülung (entnommen aus Laryngoscope 78; 1968; 1746)

Der Gummifingerling wird mit Hilfe eines Applikators unter Sicht in den Gehörgang eingeführt. Um ihn gleitfähig zu machen und jedwede Anheftung an der Gehörgangshaut zu vermeiden, wird eine dünne Vaselineschicht auf den Fingerling gegeben. Der Fingerling steht in drei Größen zur Verfügung, die kleinste Größe ist für fast alle Gehörgänge geeignet, die mittlere Größe wird bei den seltenen, weiten Gehörgängen angewendet. Bei Mastoidradikaloperierten benützen die Verfasser entweder die mittlere oder große Ausführung.

Der große Nachteil von Latex besteht darin, daß seine Wärmeleitfähigkeit sehr schlecht ist. Sie liegt niedriger als die von Silikonkautschuk. Folglich konnte dieser Nachteil auch nicht durch Verlängerung der Spüldauer in praktisch annehmbarem Rahmen ausgeglichen werden, so daß sich die Verfasser genötigt sahen, Temperaturen von 25°C für die Kaltspülung und von 49°C für die Warmspülung zu benützen. Sie spülten 40 sec lang mit 500 ml. Die Nachteile dieser Methode ergeben sich daraus, daß der Fingerling die Gehörgangshaut nur dann vollständig berührt, wenn der Durchmesser des Gehörgangs und des Fingerlings übereinstimmen. Die Wärmeübertragung wird bei einem zu kleinen Fingerling dadurch behindert, daß er nicht der gesamten Gehörgangswand anliegt und bei einem zu großen Fingerling entstehen Falten, die ebenfalls die Wärmeübertragung behindern.

PROBLEMSTELLUNG: =====

Die Labyrinthprüfung mit Wasser ist im Routinebetrieb einer Hals- Nasen- Ohrenklinik zur Standardmethode geworden. Allerdings kann sie unter verschiedenen Umständen nicht angewendet werden, z. B. bei einem Trommelfelldefekt. Es besteht dann zwar die Möglichkeit, die Labyrinthfunktion mittels Äther oder Luft zu prüfen, doch sind keine quantitativen Ergebnisse zu erhalten. Dreh- oder Pendelstühle erlauben halbquantitative Aussagen über die Leistungen eines Labyrinths, doch diese Reizung ist zu wenig aussagekräftig.

Es wurde deshalb nach einer Untersuchungsmethode gesucht, die auch bei einem Trommelfelldefekt anwendbar sein sollte; gleichzeitig sollte sie ein gleiches Maß an Genauigkeit besitzen wie die thermische Labyrinthreizung mit Wasser und einen Seitenvergleich gestatten. Außerdem sollte diese Methode für den Routinebetrieb in Praxis und Klinik geeignet sein. Mit dem Thermostimulator wurde eine solche Untersuchungsmethode entwickelt.

VORSTELLUNG DES THERMOSTIMULATORS

1. Aufbau und Funktionsweise

Da die in Teil II. beschriebenen Methoden zur Reizung des Vestibularorgans bei Trommelfelldefekten zum Teil quantitativ nicht oder nur bedingt verwertbare Ergebnisse liefern oder beim Einsatz einen zu großen technischen Aufwand erfordern, suchten wir nach einer neuen Methode, eine geschlossene Kalorisation durchzuführen. Dabei wollten wir mit den in einem Gleichgewichtslabor zur Verfügung stehenden Mitteln und Möglichkeiten auskommen und außerdem quantitativ verwertbare Ergebnisse erhalten. Das gelang durch die Entwicklung eines ganz dünnen Bläschens aus Kunststoff, das in den Gehörgang eingeführt wird. Wie bei der Reizmethode nach HALLPIKE wird dann Wasser durch das Bläschen geleitet.

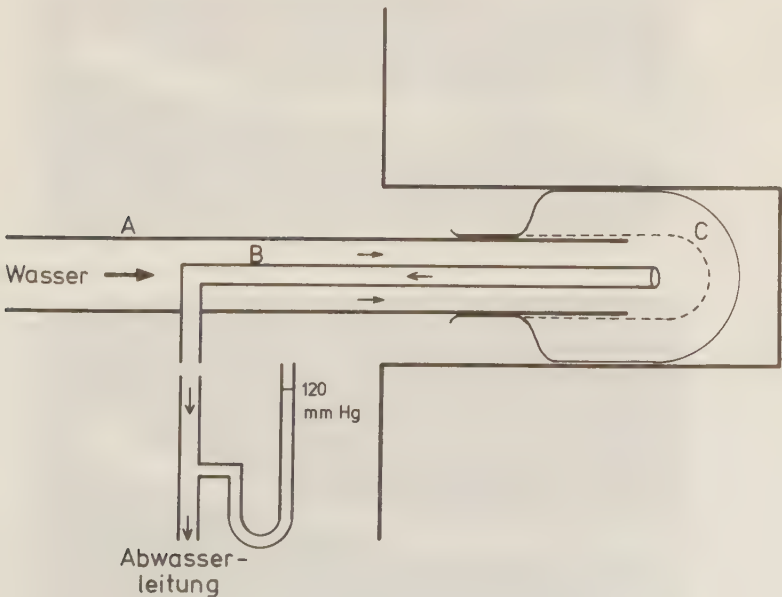


Abb. 3: Schema zur Funktionsweise des Thermostimulators

Abb. 3 zeigt schematisch Aufbau und Funktionsweise des Thermostimulators. Ein Schlauch A führt Wasser zu. Durch einen Schlauch B, der konzentrisch im Schlauch A liegt, wird das Wasser wieder abgeführt. Über Schlauch A ist das hauchdünne Bläschen gezogen und wasserdicht verklebt (gestrichelte Linie). Da das Kaliber des Wasser zuführenden Schlauches deutlich größer ist als das Kaliber des Wasser abführenden Schlauches, muß innerhalb des Bläschens ein Überdruck entstehen. Dieser, bei etwa 120 mmHg liegende Überdruck dehnt das Bläschen aus, so daß es sich an die Gehörgangswand anschmiegt (durchgezogene Linie). Das Bläschen ist an der Spitze verstärkt, wodurch verhindert wird, daß es sich nach vorn zum Trommelfell hin ausdehnen kann. Die oben beschriebene Vorrichtung bezeichnen wir als "Thermostimulator".



Abb. 4: Thermostimulator in Ruhe

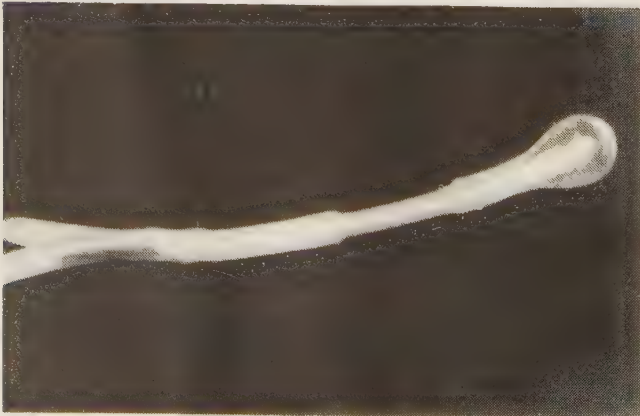


Abb. 5: Thermostimulator unter Druck stehend

Das Einführen des Thermostimulators in den Gehörgang geschieht in der Weise, daß er so lange ohne Hilfsmittel vorgeschoben wird, bis eine am Thermostimulator angebrachte Marke in Tragushöhe liegt. Dadurch wird verhindert, daß der Thermostimulator das Trommelfell berührt. Sobald der Thermostimulator im knöchernen Gehörgang liegt, wird Wasser unter Druck eingeleitet. Dafür eignen sich alle modernen Geräte, die nach dem Prinzip der Wasserdurchlauferhitzung arbeiten. Bei diesen Geräten wird das Wasser in Heizschlangen erwärmt, wobei die Wassertemperatur mit einer elektrischen Regelung konstant gehalten wird. Schon ab Werk sind meist 20°C , 30°C und 44°C fest eingestellt. An allen Geräten befindet sich ein Handgriff mit Spülspritze, auf welche der zuleitende Schlauch (A) des Thermostimulators gesteckt wird. Beim ableitenden Schlauch (B) muß sorgfältig darauf geachtet werden, daß er nicht abknickt, weil sonst der Druck im Bläschen zu stark ansteigt. Als Material für den ableitenden Schlauch hat sich PVC bewährt, weil dabei die Abknickungsgefahr gering ist.

Wenn im Bläschen ein Druck entsteht, bläht es sich auf und legt sich der Gehörgangswand an. Die zu untersuchende Person spürt dann einen leichten Druck im Ohr und hört ein Rauschen, das dadurch entsteht, daß das Wasser seine Strömungsrichtung umkehrt. Besonders bei einer Wassertemperatur von 44°C wird der Reiz viel angenehmer empfunden als bei einer direkten Wasserreizung. Es macht auch nichts aus, falls der Untersuchte eine Kopfbewegung macht oder der Untersuchende eine Wackelbewegung, weil das aufgedehnte Bläschen fest im Gehörgang sitzt. Im aufgedehnten Zustand verringert sich die Wanddicke des Bläschens, wodurch der thermische Widerstand der Thermostimulatorwand kleiner wird.

2. Material

Bei der Überlegung, ob Kunststoffe auf Grund ihrer Formbarkeit tauglich sind, störte zunächst deren extrem schlechte Wärmeleitfähigkeit. Abgesehen davon sollte das Material noch folgende Bedingungen erfüllen:

- a. hohe Reißfestigkeit
- b. geringe Materialalterung
- c. Sterilisationsfestigkeit
- d. gute Verarbeitbarkeit

Beim ersten Versuchen mit Latexgummi als Material für ein Bläschen zeigte sich, daß erst nach einer Reizdauer von mehr als 60 Sekunden ein Nystagmus ausgelöst werden konnte und auch die weiteren oben angeführten Bedingungen wurden nur mangelhaft erfüllt. Denn Latexgummi wird durch Wasser zer-
setzt, die Elastizität nimmt ab, der Gummi wird spröde und reißt. Wird sterilisiert, so wird das Latexgummibläschen noch viel schneller unbrauchbar.

Alle diese schlechten Eigenschaften hat Silikongummi nicht, sondern erfüllt ausgezeichnet die Forderungen nach guter Wärmeleitfähigkeit, hoher Reißfestigkeit, geringer Material-
alterung, Sterilisierbarkeit und guter Verarbeitbarkeit.

3. Technische Daten

(Die Daten wurden entnommen dem Datenblatt über Wacker- und Silikonkautschukdispersion R 660 vF; SM 7210,654 Wacker-
Chemie GmbH., München 22, Postfach)

1. Mechanische Eigenschaften: Die Werte unter I. in Tabelle 1 werden nach 24-stündiger Lagerung des trägerlosen Films erhalten, die unter II. nach 100-stündiger Hitzealterung bei 200°C. Die geringe Alterung des Materials wird gut aus dem kleinen Unterschied der Werte unter I. und II. ersichtlich. Sogar bei einer Hitzealterung mit 300°C zeigt das trägerlose Silikonvulkanisat erst nach 600 Stunden einer Versprödungs-
tendenz, was eine Sterilisierung des Materials zuläßt. Zwar liegt die Bruchfestigkeit von Silikonkautschuk mit 500% erheblich unter der Bruchfestigkeit von Latex mit 2000%, ge-
nügt aber für unsere Zwecke.

	I	II	Benennung
Weiterreissfestigkeit	9,0	8,0	kp/cm
Zugfestigkeit	45	50	kp/cm ²
Bruchdehnung	500	450	%
Rückprallelastizität	44	50	%

Tab. 1: Mechanische Eigenschaften des Silikonvulkanisats

2. Wärmeleitfähigkeit: Silikongummi hat eine Wärmeleitfähigkeit von $3 - 4 \times 10^{-4}$ Cal/°/Sekunde. Damit ist seine Wärmeleitfähigkeit um etwa eine Potenz besser als die von Latexgummi. Durch Beigabe von Ruß kann die Wärmeleitfähigkeit auf 7×10^{-4} Cal/°/Sekunde gesteigert werden, allerdings wird dadurch die Elastizität vermindert.

3. Elektrische Eigenschaften:

	I	II	Benennung
Durchschlagsfestigkeit	32	29	K-Volt/mm
Spezifische Durchgangswiderstand	8×10^{13}	6×10^{14}	Ohm/cm

Tab. 2: Elektrische Eigenschaften des Silikonvulkanisats

Die Durchschlagsfestigkeit ist ein Maß für die Isolierfähigkeit eines Materials. Durch den hohen Wert des Silikonvulkanisats wird verhindert, daß vom temperierenden Gerät elektrische Störfrequenzen auf den Körper übergehen.

Herstellung des Bläschens

(Hergestellt wird der Thermostimulator von der Firma Inventa GmbH; 8032 Lochham; Am Haag 7).

Die Silikonkautschuk-Dispersion besteht aus der Dispersion R 660 vF, der bereits ein Katalysator zur Vernetzung beige-fügt ist. Nach Zusatz eines Vernetzers W und Vermischung der beiden Komponenten besteht ein Verarbeitungsspielraum von mindestens zwei Wochen. Bei einer Temperatur von 180 - 200°C vulkanisiert in ca. 4 Minuten der Silikonkautschuk zu Silikon-gummi.

Hergestellt werden die Bläschen im Tauchüberzugsverfahren. Anschließend werden die Bläschenkuppe und die Schnittkanten verstärkt. Wenn die fertigen ausvulkanisierten Bläschen in Benzin gelegt werden, verdoppeln sie ihre Größe und können dann über den Innenschlauch geschoben werden. Wenn das Benzin verdunstet ist, zieht sich das Bläschen wieder auf seine ursprüngliche Größe zusammen und sitzt dann straff auf dem Innenschlauch. Dort wird es dann noch mit dem kaltvulkanisierenden Silikonkautschuk SK 43 verklebt.

Vorteile und Nachteile des Thermostimulators

Mit dem Thermostimulator können ohne Schwierigkeiten thermische Labyrinthprüfungen durchgeführt werden, ohne Rücksicht darauf, ob ein Trommelfelldefekt vorliegt oder nicht. Überdies liefert er seitenvergleichbare Resultate, da der Reiz im knöchernen Gehörgang an definierter Stelle zur Wirkung kommt.

Neben den handelsüblichen Temperiergeräten mit Durchlauferhitzung, die unverändert benutzt werden können, wird nur noch ein Schlauch zur Ableitung des Spülwassers benötigt. Um die Wärmeübertragung an der Grenzfläche zwischen der Außenseite des Thermostimulators und der Gehörgangshaut zu verbessern,

muß das Silikongummibläschen mit Elektrodengelee bestrichen werden, wie es in allen neurootologischen Labors für elektromyographische Ableitungen verwendet wird. Diese Pasten sind sehr gut wasserlöslich, trocknen im Gehörgang nach kurzer Zeit ein und bilden dann dünne Häutchen, die von selbst abfallen.

Um fehlerhafte Bläschen vor der klinischen Anwendung auszu-sondern, werden alle nach der Herstellung in einem Gehörgangsmodell von 12 mm Durchmesser mehrfach mit 70 - 90 mmHg Druck aufgeblasen. Wir konnten mit einem so getesteten Thermostimulator mehr als 250 Labyrinthreizungen durchführen. Aber selbst wenn so ein Bläschen im Gehörgang platzt, so vernimmt der Untersuchte nur ein mäßig lautes Geräusch. Solche Zwischenfälle gab es in der Entwicklungszeit des Thermostimulators öfters, doch kam es dabei nie zu einer Schädigung des Trommelfells oder der Gehörgangshaut. Dieser Nachteil, daß das Bläschen reißen kann, tritt bei den neuentwickelten Exemplaren nur mehr dann auf, wenn der Thermostimulator ohne Widerlager mit unkontrolliertem Druck aufgeblasen wird. Also wenn er etwa außerhalb des Gehörgangs gedehnt wird, oder wenn der ableitende Schlauch abgedrückt wird oder der Thermostimulator während der Untersuchung aus dem Gehörgang gezogen wird. Letzteres kann aber kaum geschehen, da das Bläschen fest an die Gehörgangswand angepreßt im Gehörgang sitzt.

UNTERSUCHUNGEN AM KÜNSTLICHEN GEHÖRGANG

Versuchsaufbau: Um erste orientierende Werte über die Temperaturleitfähigkeit des Thermostimulators zu erhalten, bohrten wir in einen Plexiglasblock eine Reihe von Kanälen mit verschiedenen Weiten (6, 7, 8, 9 und 10 mm). Diese Kanäle entsprachen künstlichen Gehörgängen. Der gesamte Plexiglasblock konnte durch ein Kühlsystem auf konstanter Temperatur (z. B. 37°C) gehalten werden. In jeden künstlichen Gehörgang konnte durch eine kleine Bohrung eine Temperatursonde eingelegt werden, um die Temperaturänderungen bei den verschiedenen Reizmethoden zu messen. Abb. 6 zeigt diesen Versuchsaufbau im Übersichtsbild.

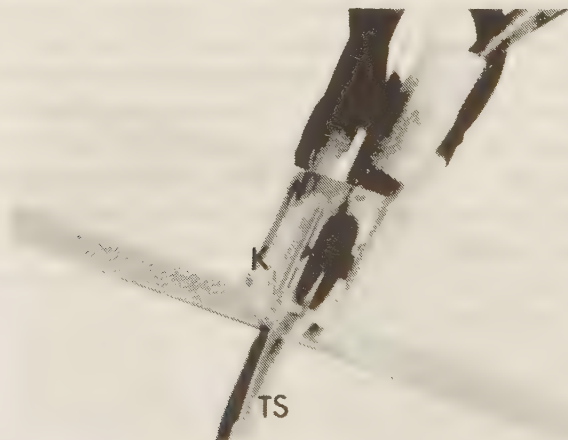


Abb. 6: Bohrung mit eingelegtem Thermostimulator (TS),
Kühlungskanal (K) und Temperatursonde (T).

In Abb. 7 wird der Versuchsaufbau schematisch dargestellt. In die Bohrung wird der Thermostimulator (TS) eingeführt und durch Wasserfluß seine Wandung so gedehnt, daß sie sich eng an die Oberfläche der Bohrung anlegt. Auf der der Gehörgangsbohrung gegenüberliegenden Seite des Plexiglasblocks befindet sich rand-

ständig zur Gehörgangsbohrung eine kleine Hilfsbohrung, durch die die Thermosonde (T) eingelegt wird. Parallel zum künstlichen Gehörgang verlaufen im Plexiglasblock vier Kanäle von 2 mm Durchmesser, durch die Wasser beliebiger Temperatur geleitet werden kann. So kann auch Körpertemperatur an der Innenwand der Gehörgangsbohrung hergestellt werden.

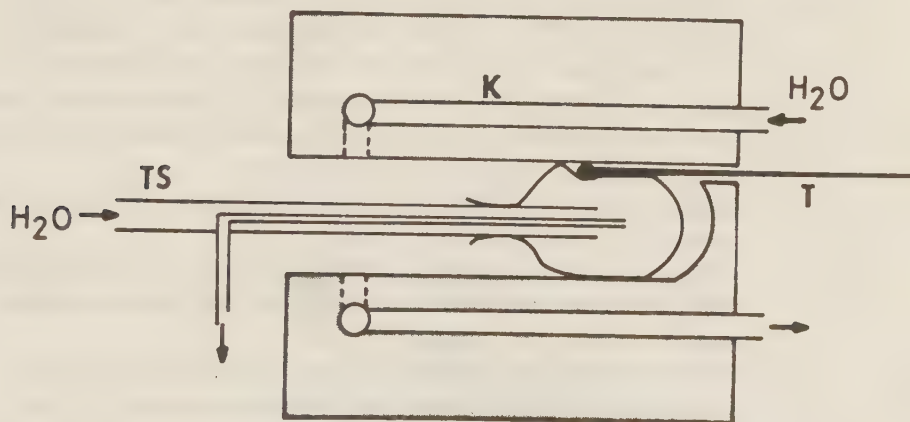


Abb. 7: Schnitt durch ein Gehörgangsmodell
(T: Temperatursonde, K: Kühlungskanal,
TS: Thermostimulator).

Folgende Fragestellungen wurden untersucht:

- durch welche Maßnahmen kann die Temperaturleitfähigkeit so verbessert werden, daß sich die Thermostimulatorkurven im Verlauf den Kurven annähern, die bei Wasserspülung erhalten werden?
- welchen Einfluß hat die Weite des künstlichen Gehörgangs auf die Temperatur, die mit der Sonde gemessen wird?
- weisen die einzelnen Thermostimatorexemplare signifikante Unterschiede in ihrer Temperaturleitfähigkeit auf?

- d. wird durch Veränderung des Drucks eine schnellere bzw. langsamere Temperaturabgabe bewirkt?

zu a. Maßnahmen zur Verbesserung der Temperaturleitfähigkeit.

Trotz der hervorragenden Eigenschaften des Materials war uns klar, daß die Wand des Thermostimulators eine nicht zu unterschätzende Barriere für den Wärmetransport ist und stellten daher Versuche an, dieses Hindernis zu umgehen. Eine Reduktion des thermischen Widerstands durch Reduktion der Wandstärke bietet sich theoretisch an, kann aber nur bis zu dem Punkt durchgeführt werden, wo die Stabilität der Bläschenwand noch nicht gefährdet ist. Da aber die Bläschenwand im gedehnten Zustand schon außerordentlich dünn ist, fällt diese Möglichkeit praktisch aus. Neben der Bläschenwand stellen erstens die Grenzfläche zwischen dem Wasser und der Innenseite der Bläschenwand, sowie zweitens die Grenzfläche zwischen Außenseite der Bläschenwand und Gehörgang ein Hindernis für den Wärmetransport dar.

Der thermische Widerstand an der Grenzschicht zwischen dem Wasser und der Innenseite der Bläschenwand dürfte zu vernachlässigen sein, denn obwohl Silikongummi hydrophob ist, resultiert aus dem Wasserdruck eine vollkommene Benetzung der Thermostimulatorwand.

Der thermische Widerstand an der Grenzfläche zwischen Außenseite der Bläschenwand und Gehörgang hängt von der Beschaffenheit der Gehörgangswand ab, also davon, ob sie mehr oder weniger stark behaart ist, ob sie fett, feucht oder trocken ist. Zwischen den Haaren können sich Luftkammern bilden, die isolierend wirken. Durch Beschichten der Bläschenaußenwand mit einem Kontaktmedium, werden die unterschiedlichen Oberflächeneigenschaften weitgehend ausgeschaltet, die Oberfläche wird vergrößert und dadurch der thermische Widerstand verringert.

Wir ließen zunächst klinische Aspekte außer acht und nahmen als Kontaktmedium Silikon-Wärmeableitpaste, Haut-

creme (Satina^R), Paraffinöl und Elektrodengelee zur Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit. Das Bläschen wurde von Wasser mit 44°C durchflossen und dabei der Plexiglasblock und damit die Gehörgangswandung mittels des Kanalsystems gekühlt, um den beobachteten Temperaturbereich zu erweitern.

Zeit nach Versuchs- beginn	Wasser- wert		Haut- creme		Paraf- finöl		Silikon- Wärmeab- leitpaste		Elektro- denglee	
2 Sek.	39,2 °C	100%	29,5	49	28,0	42	33,2	69	30,5	55
5 Sek.	43,0 °C	100%	37,0	74	36,5	72	39,0	83	38,0	78
15 Sek.	44,0 °C	100%	40,7	86	41,2	89	42,0	92	42,2	93

Tab. 3: Temperaturwerte im Gehörgangsmodell in Absolutwerten und in Prozent der Wasserwerte. Die Berechnung der Prozentwerte geht aus von einer Temperatur von 20°C im Gehörgangsmodell.

Aus Tabelle 3 und Abb. 8 geht deutlich hervor, daß bei Beschichtung des Thermostimulators mit Silikon-Wärmeleitpaste die schnellste Wärmeabgabe erfolgt, nach 2 Sekunden sind bereits 69% des Wasserwertes erreicht. Diese Paste ist allerdings wegen ihrer Konsistenz nicht zu verwenden, da lange Zeit Reste davon im Gehörgang verbleiben. Von den übrigen gut verwendbaren Beschichtungsmaterialien erwies sich Elektrodenglee als das Material, das die beste Wärmeleitfähigkeit besitzt. Hautcreme (Satina^R) bietet etwa das gleiche Bild wie Paraffinöl, abgesehen davon, daß sie die Wärme am Anfang etwas schneller überleitet. Nach 15 Sekunden ist aber noch nicht 90% des Wasserwertes er-

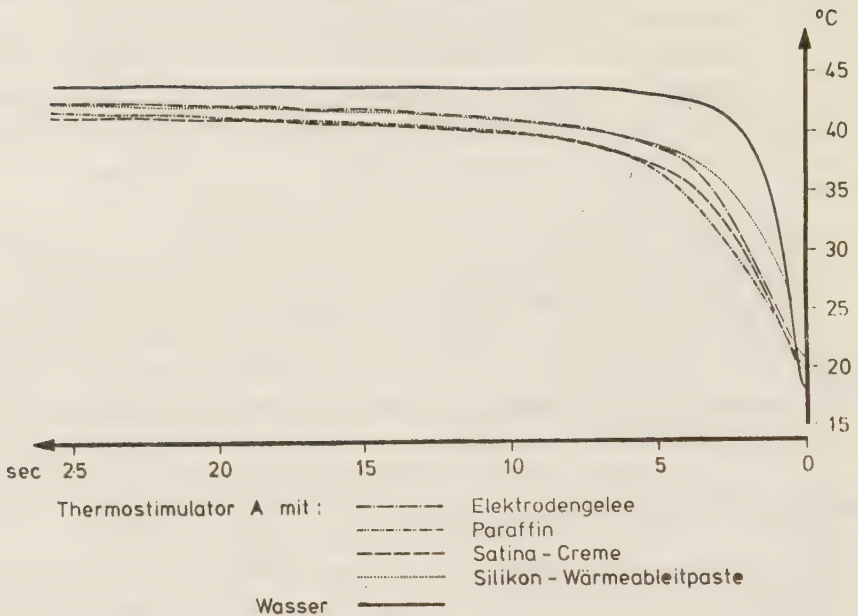
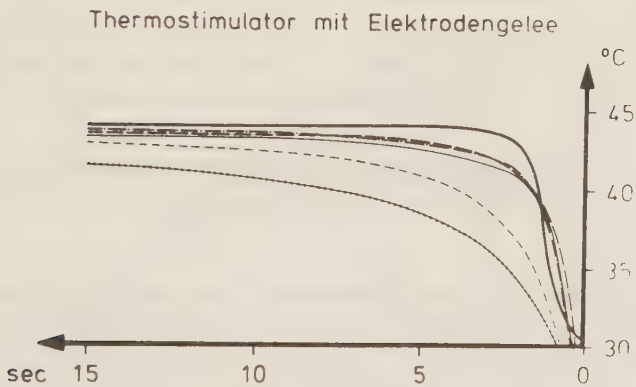
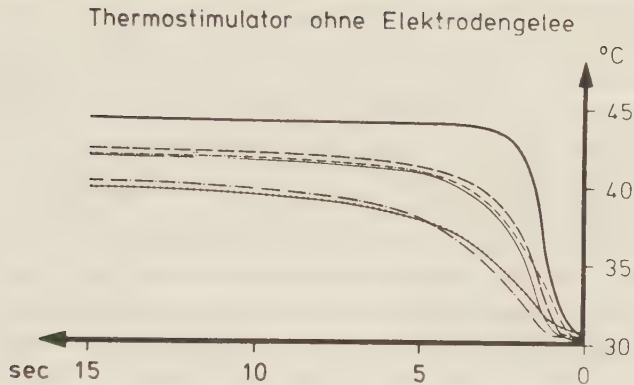


Abb. 8: Temperaturverlauf an der Thermo-sonde bei verschiedenen Kontaktmedien. Die nach links laufende Zeitachse ist technisch bedingt (Schreiberlaufwerk).

reicht. Bei Beschichtung des Thermostimulators mit Elektrodengelee erhielten wir aber in jeder Phase Werte, die über denjenigen lagen, die wir bei Verwendung von Satina-Creme und Paraffinöl erhalten hatten. Nach 7 Sekunden war die gemessene Temperatur sogar noch höher als die Temperatur, die sich bei Verwendung von Silikon-Wärmeableitpaste ergab. Deshalb nahmen wir bei den späteren Versuchen mit freiwilligen Versuchspersonen das Elektrodengelee als Beschichtungsmaterial für den Thermostimulator.

zu b. Einfluß der Weite des Gehörgangs auf die von der Sonde gemessene Temperatur.

Theoretisch war zu erwarten, daß die Werte des Thermostimulators umso näher an den Wasserwerten liegen sollten, je weiter die Gehörgangsbohrung ist. Der Grund dafür liegt



Durchmesser der Bohrungen:

- 10 mm
- - - 9 mm
- - - 8 mm
- - - 7 mm
- · · 6 mm

Abb. 9, 10: An der Thermosonde gemessene Temperaturen bei variierenden Gehörgangsweiten im Vergleich zur direkten Wasserspülung (dicke, durchgezogene Linie).

		Gehörgangsdurchmesser									
Zeit nach Versuchs- beginn	Wasser- werte $\pm 100\%$	10 mm		9 mm		8 mm		7 mm		6 mm	
		o.E.	m.E.	o.E.	m.E.	o.E.	m.E.	o.E.	m.E.	o.E.	m.E.
2 Sek.	43,0°C	48,5	81,3	56,7	81,3	53,7	50,0	24,6	82,0	29,1	29,0
5 Sek.	44,0°C	77,1	88,8	79,0	92,3	77,1	80,0	57,6	92,3	54,2	59,0
15 Sek.	44,0°C	83,3	93,8	86,1	95,1	84,7	90,3	72,2	96,5	61,8	81,2

Tab. 4: Temperaturmeßwerte bezogen auf den Wasserwert
(= 100%) bei variierenden Gehörgangsweiten.

Helle Felder: Thermostimulator ohne Elektroden-
gelee (o. E.)

Schraffierte Felder: Thermostimulator mit Elek-
trodengelee (m. E.)

darin, daß in einem weiten Gehörgang sich das Bläschen besser ausdehnen kann und auch der Wasserdurchfluß weniger behindert ist. Dadurch, daß sich das Bläschen weiter ausdehnt, wird dessen Wandung dünner, der thermische Widerstand sinkt, und die Wärme kann schneller abgegeben werden.

Wir unterteilten diese Versuchsreihe in zwei Abschnitte. Beim erstenmal ließen wir den Thermostimulator unbe-
schichtet (Abb. 9) und ermittelten die Temperaturwerte bei den einzelnen Bohrungen; beim zweiten Durchgang be-
schichteten wir den Thermostimulator mit Elektrodenge-
lee, dem Kontaktmedium, das wir auch für die weiteren
Untersuchungen vorgesehen hatten.

Bei der Besprechung der Resultate sollen zuerst die Ergebnisse behandelt werden, die wir mit dem Thermostimulator ohne Beschichtung erhielten (helle Felder der Tab. 4, Abb. 9 und 11. In Abb. 11 wird die Tab. 4 graphisch dargestellt, um den Einfluß der Beschichtung noch deutlicher zu machen). Die Überlegung, daß die Werte des Thermostimators umso näher an den Wasserwerten liegen sollten, je weiter die Gehörgangsbohrung ist, fanden wir bestätigt. Besonders deutlich kommt das bei den Meßwerten nach 5 Sekunden Spüldauer zum Ausdruck. Hier kann vom 6 mm engen bis zum 9 mm weiten Gehörgang eine kontinuierliche Temperaturzunahme festgestellt werden. Bei einem Durchmesser der Bohrung von 10 mm dürfte die Wand des Thermostimators schon so weit gedehnt sein, daß sich der thermische Widerstand im Vergleich zur 9 mm Bohrung nicht mehr meßbar verringert. Die relativen Temperaturwerte bezogen auf den Wasserwert blieben immer unter der 90% Grenze (Abb. 11, linke Bildhälfte).

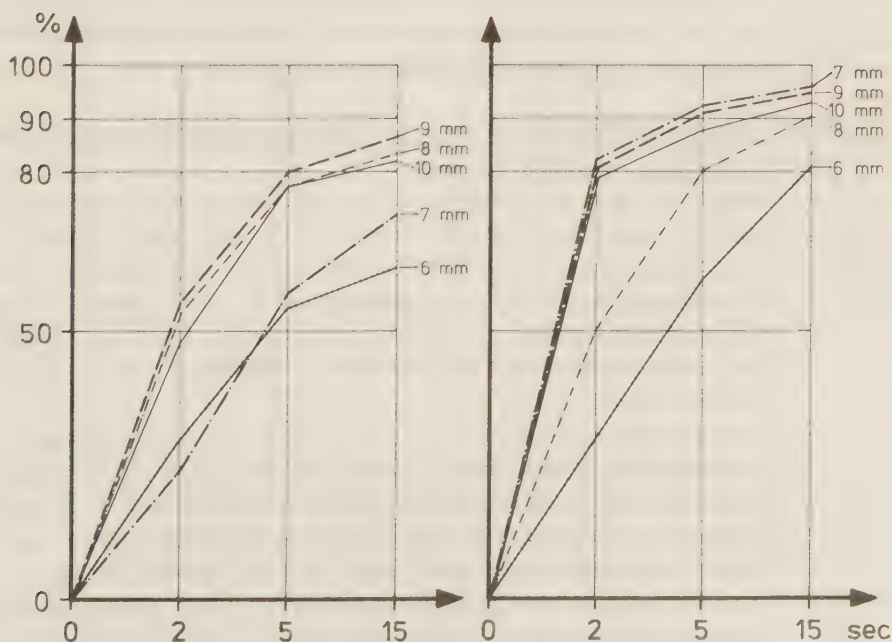


Abb. 11: Relative Temperaturwerte in Prozent bezogen auf den Wasserwert (= 100%). Linke Bildhälfte Thermostimulator ohne Beschichtung, rechts beschichtet.

Ganz anders liegen die Verhältnisse, wenn der Thermo-
stimulator mit Elektrodengelee beschichtet wird. Am
besten wird das ersichtlich aus der Abb. 11. Während näm-
lich ohne Beschichtung nach 2 Sekunden Spüldauer kein Wert
auch nur annähernd an die 80%-Marke herankam, lagen mit
Beschichtung nach 2 Sekunden schon drei Werte über dieser
Marke. Nach 5 Sekunden waren nur noch die Werte der klein-
sten Gehörgangsbohrung unter der 80% Grenze und nach 15
Sekunden lagen alle Werte über 90% des Wasserwertes, abge-
sehen von den Ergebnissen in der kleinsten Gehörgangsboh-
rung. Wie also zu erwarten war, liegen nach Beschichtung
alle Temperaturmeßwerte wesentlich höher. Aus der Abb. 11
wird klar ersichtlich, daß der Einfluß der Gehörgangsweite
auf die Temperaturmeßwerte durch das Elektrodengelee ver-
ringert wird. Die Ausnahme bildet anfangs der kleinste,
6 mm weite Gehörgang, aber auch hier erreichen die Meßwerte
nach 25 Sekunden die 90% Grenze. Die Kurven zeigen auch,
daß mit zunehmender Spüldauer der Einfluß der Gehörgangs-
weite auf die Temperaturübertragung sinkt.

zu c. Unterschiede in der Temperaturleitfähigkeit verschiedener
Thermostimulator-exemplare.

Durch die Art der Fertigung bedingt, kann die Wandstärke
der Bläschen in geringem Maße differieren. Der Thermosti-
mulator wird gefertigt, indem ein Kunststoffstab von 3 mm
Durchmesser kurz in Silikonkautschuk getaucht wird, wobei
durch die Dauer des Eintauchens und wegen der Konsistenz
des Kautschuks die Dicke des Bläschenwandung unterschied-
lich ausfallen kann.

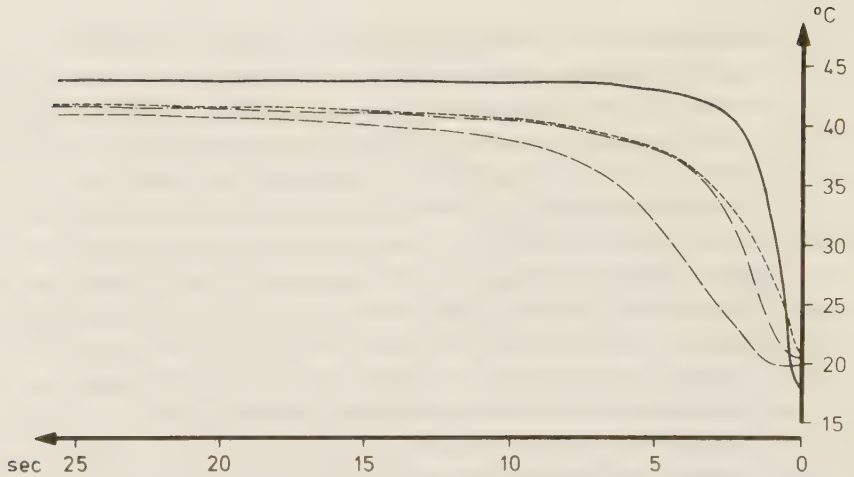
Um die Auswirkungen dieser Differenzen in der Bläschen-
wanddicke zu untersuchen, wurden am Gehörgangsmodell Ver-
suche mit drei verschiedenen Thermostimulatoren A, B und C
durchgeführt, wobei wir als Gehörgangsdurchmesser 10 mm
wählten. Wieder wurde der ganze Versuch einmal mit Be-
schichtung und einmal ohne Beschichtung des Thermostimu-
lators durchgeführt. Bei Betrachtung der Abb. 12 und 13
zeigt sich, daß ohne Beschichtung mit Elektrodengelee die
Thermostimulatoren B und C die bessere Wärmeleitfähigkeit

haben als der Thermostimulator A. Während nämlich B und C nach 2 Sekunden Wasserlauf bereits 75% (B) und 80% (C) des Wasserwerts erreicht haben, hat Bläschen A erst 56% der Wassertemperatur erreicht. Nach 5 Sekunden aber ist die Differenz von B und C zu A nicht mehr so hoch, es heißt jetzt 88% (B, C) zu 74% (A). Nach 15 Sekunden ist die Reihenfolge immer noch die gleiche, allerdings liegen die Werte jetzt viel weiter beieinander: B und C haben 94% bzw. 94,8% der Wassertemperatur erreicht, A 92%. Es zeigt sich, daß mit zunehmender Spüldauer der Einfluß verschiedener Wandstärken immer mehr abnimmt. Nach Beschichtung der Thermostimulatoren mit Elektrodengelee zeigt sich ein anderes Bild; jetzt unterscheiden sich die Werte der einzelnen Thermostimulatoren wesentlich weniger, außerdem sind alle Werte noch näher an die Wasserwerte herangerückt (siehe Tabelle 5).

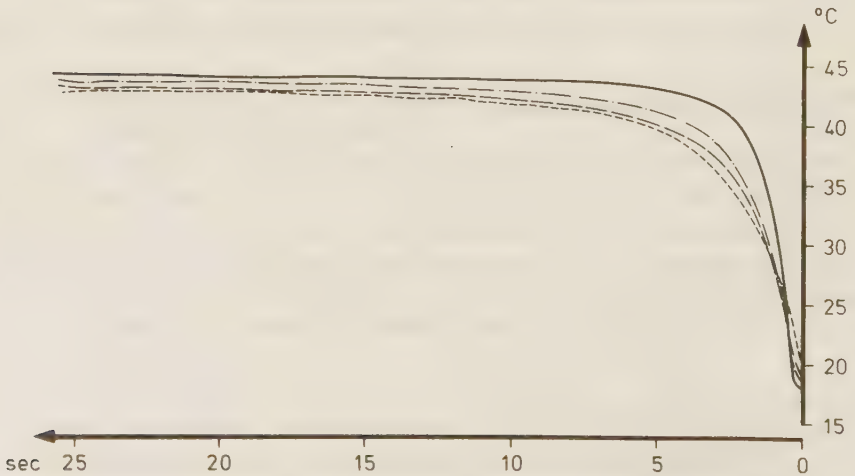
Zeit nach Versuchsbeginn	Wasser- werte $\hat{=}$ 100%	TS: A		TS: B		TS: C	
		o.E.	m.E.	o.E.	m.E.	o.E.	m.E.
2 Sek.	39,7°C	12,7	72,3	50,7	78,8	62,2	67,3
5 Sek.	43,2°C	52,8	87,3	79,7	91,6	78,7	85,1
15 Sek.	44°C	85,4	95,8	89,9	97,9	90,6	93,8

Tab. 5: Relative Temperaturwerte bezogen auf den Wasserwert (= 100%)

Durch Beschichten mit Elektrodengelee konnten wir also erreichen, daß erstens die ohne Beschichtung zweifellos vorhandene unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit weitgehend aufgehoben wird und zweitens bei allen drei Thermostimulatoren die Wärmeabgabe erheblich verbessert wurde. So erreicht z. B. Thermostimulator A ohne Elektrodengelee nach 2 Sekunden nur 56,6% der Wassertemperatur, während mit



Vergleich Thermostimulator A(---), B(---) und C(---) mit Wasser(—)
Thermostimulator ohne Elektrodengelee
Bohrung 10 mm ϕ



Vergleich Thermostimulator A(---), B(---) und C(---) mit Wasser(—)
Thermostimulator mit Elektrodengelee
Bohrung 10 mm ϕ

Beschichtung nach der gleichen Zeit bereits 86,9% der Wassertemperatur erreicht waren: eine Verbesserung um 30%.

Die aufgeführten Ergebnisse können noch besser verdeutlicht werden, wenn die prozentuale Abweichung der jeweiligen Meßwerte aller drei Thermostimulatoren vom Mittelwert betrachtet wird.

Die schraffierten Flächen in Tab. 6 kennzeichnen die Werte, die um mehr als 10% vom Mittelwert abweichen; auch hier wird wieder der positive Einfluß der längeren Spüldauer und der Beschichtung mit Elektrodengelee ersichtlich.

Zeit nach Versuchs- beginn	Mittelwert von TS A,B,C in %		TS: A		TS: B		TS: C	
	o.E.	m.E.	o.E.	m.E.	o.E.	m.E.	o.E.	m.E.
2 Sek.	41,9	72,8	-69,7	- 0,7	+21,0	+ 0,1	+48,4	- 7,5
5 Sek.	70,4	88,0	-25,0	- 0,8	+13,2	+ 4,1	+11,8	- 3,3
15 Sek.	88,5	95,8	- 3,5	- 0,03	+ 1,2	+ 2,2	+ 2,4	- 2,1

Tab. 6: Abweichung der Thermostimulatoren A, B und C vom Mittelwert (Wert aus Tab. 5)

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß sich bei den Messungen Unterschiede zwischen den einzelnen Thermostimulatoren herausstellten, die wohl auf das Herstellungsverfahren zurückzuführen sind. Wird allerdings Elektrodengelee als Kontaktmedium verwendet, so werden diese Unterschiede weitgehend aufgehoben.

zu d. Einfluß des Drucks auf die von der Thermo-sonde gemessene Temperatur.

Bei dem Thermostimulator ist der auftretende Druck im Gehörgang gegenüber der herkömmlichen thermischen Reizung ein neuer physikalischer Faktor, dessen eventuelle Einwirkung auf die Labyrinthreizung untersucht werden muß.

HO et al. lösten bei gesunden Versuchspersonen und bei Patienten mit chron. Otitis media durch Erhöhung des Luftdrucks im äußeren Gehörgang auf 40 und 80 mmHg bei Zimmertemperatur einen zur Gegenseite gerichteten Nystagmus aus, bei 35°C erfolgte keine Reaktion. Die Reaktion trat auch nur bei Anhebung des Kopfes um über 20° über die Horizontalebene auf, bei aufgerichtetem Kopf nicht.

PARKER konnte mit Hilfe einer größeren Untersuchungsreihe klar zeigen, daß eine funktionelle Erregung des Vestibularapparates durch nicht adaequate Druckreize ausgelöst werden kann. Dieses Verhalten wurde sowohl für statische Änderungen, Druckänderungen im Infraschallbereich sowie für Hörschall mit hohen Intensitäten bei Tierversuchen und bei Versuchen mit Menschen nachgewiesen. Es wird ein Mechanismus postuliert, nach dem alle diese Erregungen des Vestibularapparates durch Druckänderungen derselben Ursache, nämlich einer Verschiebung der Ruhelage des Steigbügels, zustande kommen sollen. PARKER erzeugte, um diese Hypothese zu prüfen, bei Meerschweinchen statische Druckänderungen im äußeren Gehörkanal und registrierte die Antworten einzelner Ganglienzellen im n. vestibularis. Bei ungefähr einem Drittel der untersuchten Nervenzellen sind eindeutig Antworten auf die Erregungsreize beobachtet worden. Falls die Theorie von der Verschiebung der Ruhelage des Steigbügels und der dadurch erzeugte Nystagmus seine Richtigkeit hat, dürfte durch den Druck allein, den der Thermostimulator erzeugt, keine Labyrinthreizung erzeugt werden können, weil er nicht mit dem Trommelfell in Berührung kommt. Allerdings ist vorstellbar, daß die zwischen Trommelfell und Bläschen verbleibende Luft durch

den sich ausdehnenden Thermostimulator komprimiert wird und durch den oben postulierten Mechanismus eine Labyrintherrregung auslöst. Wir führten deshalb mit dem Thermostimulator bei einer Spalttemperatur von 37°C Labyrinthreizungsversuche durch, variierten die Drücke und registrierten die Augenbewegungen, konnten aber in keinem Fall einen Nystagmus feststellen.

		Wasserdruck in kp/cm^2				
Zeit nach Versuchsbeginn	Wasserwert $\pm 100\%$	0,8	1,2	1,6	2,0	2,2
2 Sek.	$39,7^{\circ}\text{C}$	38,1	48,2	67,3	52,0	68,5
5 Sek.	$43,2^{\circ}\text{C}$	58,3	81,9	83,0	73,3	79,7
15 Sek.	44°C	88,5	95,8	91,7	86,5	89,6

Tab. 7: Relative Temperaturwerte bezogen auf den Wasserwert (= 100%) bei verschiedenen Drücken

Mit Hilfe des hier beschriebenen Versuchs wollten wir herausfinden, ob bei erhöhtem Druck mit der Thermosonde auch eine schnellere Temperaturübertragung gemessen werden kann und wie eine erhöhte Durchflußgeschwindigkeit diesen Temperaturübergang beeinflusst.

Es zeigt sich, daß nach 15 Sekunden Wasserfluß bei jedem Druck die praktisch gleiche Temperatur erreicht ist, daß jedoch in dieser Kurvenschar nicht der Druck von $2,2 \text{ kp/cm}^2$ die oberste Kurve darstellt, sondern zusammen mit der Kurve aus $2,0 \text{ kp/cm}^2$ und $1,6 \text{ kp/cm}^2$ die untere Hälfte der Kurvenschar bildet. Dieses Ergebnis ist nicht ohne weiteres zu erklären, denn der höhere Druck sollte auch einen höheren Wasserdurchfluß bedeuten und damit eine größere Anzahl von Kalorienträgern pro Zeiteinheit. Nicht einmal in der Anfangsphase des Wasserdurchflusses kommt diese Tatsache zum Ausdruck, da die Drücke von $1,2 \text{ kp/cm}^2$ und $1,6 \text{ kp/cm}^2$ zwischen der 2. und 5. Sekunde nach Wasserdurchflußbeginn Werte ergeben, die näher an die Wassertemperatur heranrücken als die Werte der höheren Drücke. Als Ursache kommen

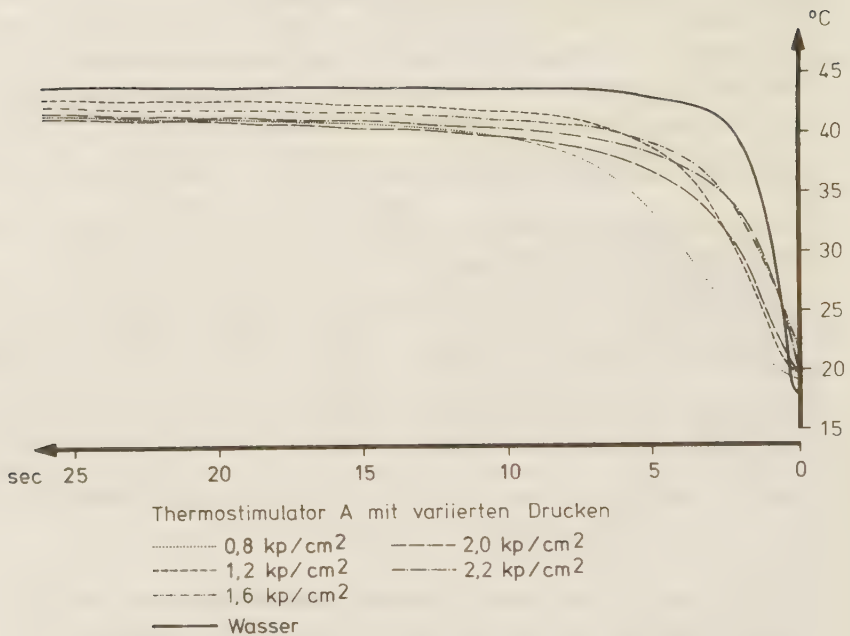


Abb. 14: Temperaturmeßwerte in Abhängigkeit vom Wasserdruck

möglicherweise Wasserpolster oder Wirbelbildungen in Frage. Wasserpolster können sich unter Umständen deshalb ausbilden, weil sich bei den hohen Drucken der Thermostimulator zusätzlich in der Längsrichtung ausdehnt, wodurch der Raum im Bläschen größer wird. Dann fließt möglicherweise das durchströmende Wasser direkt vom zuführenden in den abführenden Schlauch, so daß an der Wandung ein Wasserpolster verbleibt, das nicht ausgetauscht wird.

Wegen dieser Nachteile höherer Drucke blieben wir auch bei allen weiteren Labyrinthreizungen bei einem Druck von $1,6 \text{ kp/cm}^2$, zumal da dieser Druck bei den Versuchspersonen auch kein unangenehmes Gefühl im Ohr auslöste, was bei höheren Drucken durchaus der Fall sein kann, wie wir an Eigenversuchen festgestellt haben.

KLINISCHE UNTERSUCHUNGEN AN NORMALPERSONEN

1. Orientierende Versuche an gesunden Versuchspersonen

Ziel der Untersuchung

Trotz der guten Wärmeleitfähigkeit von Silikonkautschuk - gleiche Reizdauer vorausgesetzt - ist die bei einer Labyrinthreizung mit dem Thermostimulator zur Verfügung stehende Wärmeenergie geringer als bei einer direkten Labyrinthreizung mit Wasser. Theoretisch gibt es zwei Wege, diesen Nachteil auszugleichen:

- a. Variation der Temperatur unter Beibehaltung der Reizdauer.
- b. Variation der Spüldauer unter Beibehaltung der Temperatur mit proportional zur Spüldauer ansteigender Wassermenge.

In dieser orientierenden Untersuchung werden beide Möglichkeiten untersucht, um herauszufinden, inwieweit sich diese theoretischen Erwägungen im praktischen Versuch als richtig herausstellen und mit welcher Modifikation einer Thermostimulatoruntersuchung Ergebnisse erzielt werden können, die den Resultaten einer kalorischen Labyrinthreizung nach HALLPIKE annähernd gleich sind.

Methode

Die freiwilligen Versuchspersonen im Alter von 20 - 32 Jahren wurden vor den Untersuchungen auf Trommelfelldefekte oder Erkrankungen des Gehörgangs untersucht und auch anamnestisch wurden Ohrerkrankungen ausgeschlossen. Außerdem wurde evtl. vorhandenes Cerumen entfernt. Weiterhin wurden die Versuchspersonen aufgefordert, sich am Tage vor der Untersuchung rechtzeitig zur Ruhe zu legen und keinen Alkohol und keine Medikamente zu sich zu nehmen. Zwischen die einzelnen Untersuchungen wurde jeweils eine Pause von 10 Minuten gelegt. Zur elektronystagmographischen Registrierung des Nystagmus benutzten wir einen Schwarzer-Schreiber mit drei Kanälen.

Um maximale Nystagmusamplituden zu registrieren, wurden die versilberten Dauerelektroden, die einen Durchmesser von 2 cm haben, mit der oberen Kante etwas unter dem oberen Orbitalrand an der Schläfe angelegt, so daß sie mit dem seitlichen Orbitalrand in etwa abschnitten. Bei der beschriebenen Lage der Elektroden an den Schläfen wird nur der horizontale Nystagmus bzw. nur die horizontale Bewegung bei Nystagmus mit rotatorischer Komponente registriert, was aber für die Versuchszwecke ausreicht.

Zu Beginn des Versuches wurden zur Eichung Augenbewegungen registriert, die einem Blickwinkel von 20 Grad entsprechen. Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, alternierend zwei in einer Entfernung von 40 cm voneinander angebrachte Markierungspunkte an der Decke des Untersuchungsraumes zu fixieren. Da die einzelnen Blickbewegungen immer etwas unterschiedlich ausfallen, führten die Versuchspersonen mehrere Blickbewegungen hintereinander aus; der Eichung wurden dann die Mittelwerte der Eichausschläge zugrunde gelegt. Da der vestibuläre Nystagmus durch Fixation gehemmt wird, fand die Untersuchung in einem völlig verdunkelten Raum statt. Die Versuchspersonen hielten während der postkalorischen Phase die Augen offen, da die Untersuchungen von KIRSTEIN und SCHÖPFER ergaben, daß bei der elektrischen Aufzeichnung von Augenbewegungen nach Lidschluß mit Störungen gerechnet werden muß, die zu einer Verwechslung mit Spontannystagmus führen können. Geräusche, die die Aufmerksamkeit der Versuchspersonen erregen könnten, wurden durch Schallisolierung des Untersuchungsraumes weitgehend ausgeschlossen.

- a. Vergleich Labyrinthreizung nach HALLPIKE - Labyrinthreizung mit dem Thermostimulator bei Variation der Temperatur unter Beibehaltung der Reizdauer.

Es wurden 5 Labyrinthreizungen von je 30 Sekunden Dauer in Folge durchgeführt, wobei zwischen den einzelnen Versuchen 10 Minuten Pause lagen. Wir begannen mit einer Labyrinthreizung nach HALLPIKE, die folgenden vier Versuche wurden mit dem Thermostimulator durchgeführt; dabei senkten wir die Wassertemperatur von 29°C von Versuch zu Versuch um je ein Grad Celsius bis auf 26°C.

30°C H ₂ O	26°C TS	27°C TS	28°C TS	29°C TS
24,75	26,5	24,0	18,75	14,0
100%	107%	97%	75,8%	56,6%

Tab. 8: Maximale Winkelgeschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase bei verschiedenen Temperaturen

In Tab. 8 sind in Absolutwerten und Prozentsen die Mittelwerte der maximalen Winkelgeschwindigkeit bei den untersuchten Temperaturen dargestellt. Abb. 15 zeigt die Ergebnisse der gesamten Reaktion, Parameter ist auch dabei die maximale Winkelgeschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase.

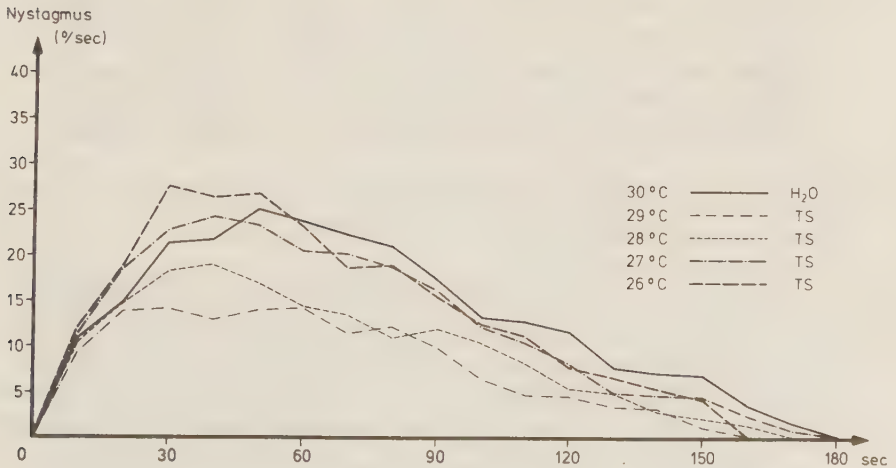


Abb. 15: Nystagmusverlauf bei Reizung mit verschiedener Wassertemperatur

Die Labyrinthreizungen bei 26°C und 27°C ergeben während der ersten Minute nach Reizende höhere Werte als die Wasserreizung, dann fallen die Thermostimulatorkurven unter die

Kurve der Wasserreizung und laufen etwas darunter bis zum Ende der Reaktion etwa parallel dazu aus. Bei den Labyrinthreizungen mit 28°C und 29°C zeigt sich ein ganz anderes Bild: während keiner Phase der Reaktion sind die Werte höher als bei Wasserstimulation, sie erreichen auch nicht annähernd während der 30. bis 90. Sekunde, wo der Nystagmus besonders kräftig ist, die gleiche Höhe wie die Kurve bei Wasserreizung.

	Zeit nach Reaktionsbeginn (Sek.)				
	30	60	90	120	150
30°C H ₂ O	100%	100%	100%	100%	100%
26°C TS	+ 16	- 3,6	- 11,7	- 34,8	- 40,8
27°C TS	+ 5	-12,9	- 7,4	- 21,9	- 37,1
28°C TS	-15,4	-39,4	-32, 0	- 54,4	- 70,4
29°C TS	-34,2	-40,5	-42, 1	- 63,1	- 88,9

Tab. 9: Relative Differenz zwischen Wasserwert und Werten der Thermostimulatorreizung

In Tabelle 9 wird das ähnliche Verhalten der Thermostimulatorreizung bei 28°C und 29°C bzw. bei 26°C und 27°C anhand der relativen Differenz zwischen den Wasserwerten und den Werten bei Thermostimulatorreiz verdeutlicht. Zugrundegelegt sind diesen Werten die Winkelgeschwindigkeit der langsamen Phase des Nystagmus 30, 60, 90, 120 und 150 Sekunden nach Beginn der Reaktion.

Deutlicher noch als aus Abb. 15 geht aus der Tab. 9 hervor, daß die Werte der Thermostimulatorreizung mit 27°C Wassertemperatur am besten mit den Ergebnissen der Wasserreizung bei 30°C Wassertemperatur übereinstimmen. Denn im Verhältnis zur Reizung mit 26°C steigen die Werte bei 27°C am Beginn nicht so steil an, bleiben also mehr der Wasserkurve angenähert und fallen auch danach (abgesehen vom Wert nach 60 Sek.)

nicht so stark ab wie die Werte bei 26°C . Der Widerstand, den die Bläschenmembran der Kälteausbreitung entgegensetzt, wird also durch eine Temperaturerniedrigung um 3°C am besten ausgeglichen. Das würde beim Warmreiz einer Erhöhung der Reiztemperatur auf 47°C entsprechen, was wegen der Schmerzschwelle bei 45°C nicht anzustreben ist. Wir untersuchten im folgenden, ob auch durch Verlängerung der Reizdauer ähnliche Ergebnisse wie bei Wasserreizung zu erzielen sind.

b. Vergleich Labyrinthreizung nach HALLPIKE-FITZGERALD-

Labyrinthreizung mit dem Thermostimulator bei variierender Spüldauer mit proportional zur Spüldauer ansteigender Wassermenge.

Für eine Verlängerung der Reizdauer bei gleichbleibender Temperatur sprechen unter anderem die Untersuchungen von CHRISTIAN. Aus seinen Experimenten geht hervor, daß die Parameter Dauer, Schlagzahl und Gesamtamplitude bei einer Spülung mit 50 ml Wasser in 25 Sekunden und einer Spülung mit 100 ml Wasser in 50 Sekunden gleich sind. Als Erklärung kann folgende Überlegung dienen: Wasser von 30°C oder 44°C strömt mit gleichbleibender Geschwindigkeit in den Gehörgang, wo die Temperatur bei ca. 37°C liegt. Es kommt daher im Gehörgang und den Strukturen der Umgebung zu einer Abkühlung oder zu einer Erwärmung, so daß sich die Temperatur dort der Spültemperatur immer mehr angleicht, je länger das Wasser fließt. Die Temperaturwelle pflanzt sich in Richtung auf das Labyrinth fort und ändert auf ihrem Wege die in den berührten Strukturen herrschende Temperatur. Es entsteht ein Temperaturgefälle, das sich zunächst noch in Richtung auf die Temperatur des zur Labyrinthreizung verwendeten Wassers verändert. Der Erwärmung oder Abkühlung des Gehörganges und seiner Umgebung wirkt der An- oder Abtransport von Kalorien in die weitere Umgebung des Körpers entgegen. Nach einer bestimmten Zeit wird ein Gleichgewicht erreicht und das Temperaturgefälle vom Gehörgang zum Labyrinth stellt sich auf einen konstanten Wert ein. Bei einer Verlängerung der Spüldauer über diese Zeit hinaus dürfte also im Anschluß an die Spülung keine weitere Steigerung der Reaktion mehr zu er-

warten sein. Bei den Untersuchungen von CHRISTIAN war also dieser Gleichgewichtszustand bereits nach 25 Sekunden bei einer Wassermenge von 50 ml erreicht, so daß trotz einer Verdoppelung von Reizdauer und Wassermenge anhand der verwendeten Parameter keine Steigerung der Reaktion festgestellt werden konnte. Im Falle des Thermostimulators gilt, aus obiger Ausführung abgeleitet, folgende Überlegung: wie sich bei den Versuchen am künstlichen Gehörgang herausstellte, ist die Wärmeleitfähigkeit von Silikonkautschuk so gut, daß die Temperaturen von 30°C bzw. 44°C fast erreicht werden, nur dauert es eben eine bestimmte Zeit, bis an der Außenmembran mit der Thermosonde eine Temperatur von 30°C bzw. 44°C gemessen werden kann. Es muß also einfach solange gespült werden, bis der oben beschriebene Gleichgewichtszustand erreicht ist. Da es nicht möglich ist, diesen Zeitpunkt exakt festzulegen, verdoppelten wir die Reizdauer und spülten statt 30 nun 60 Sekunden, da wir annehmen konnten, daß der Zeitpunkt, an dem sich das Gleichgewicht einstellt, innerhalb dieses Zeitraumes liegt.

Methode:

Die gesamte Untersuchung umfaßte pro Versuchsperson zwanzig Labyrinthreizungen, die auf vier Tage verteilt wurden. Das Vorgehen war immer gleich: Die erste Labyrinthreizung dauerte 30 Sekunden und wurde nach der Methode HALLPIKE durchgeführt, bei der zweiten und dritten Labyrinthreizung wurde der Thermostimulator eingesetzt und zuerst 30 Sekunden und dann 60 Sekunden lang gereizt, bei der 4. und 5. Labyrinthreizung kam wieder der Thermostimulator in gleicher Weise zur Anwendung, diesmal allerdings mit Elektrodengelee beschichtet. Da es sich um orientierende Versuche handelte, wurden evtl. auftretende Habituationsvorgänge außerachtgelassen und an den einzelnen Terminen jeweils nur eine Seite gereizt: mit 30°C also am ersten Termin das rechte, am zweiten Termin das linke Labyrinth; mit 44°C am dritten Termin wieder das rechte und am vierten Termin wieder das linke Labyrinth.

Durch diese orientierende Untersuchung sollten folgende Fragen geklärt werden.

1. Wieweit können bei gleicher Reizdauer die Werte des Thermostimulators an die Werte der Wasserreizung herankommen?
2. Erreichen die Werte, die mit dem Thermostimulator gewonnen werden, bei Verdoppelung der Reizdauer die Werte der Wasserreizung?
3. Kann durch Beschichten des Thermostimulators mit Elektrodengelee schon nach 30 Sekunden ein der Wasserreizung adäquates Ergebnis erzielt werden, oder muß auch dabei die Reizdauer noch verlängert werden?

Ergebnisse des Vergleichs: Labyrinthreizung nach der Methode HALLPIKE-FITZGERALD und Labyrinthreizung mit dem Thermostimulator.

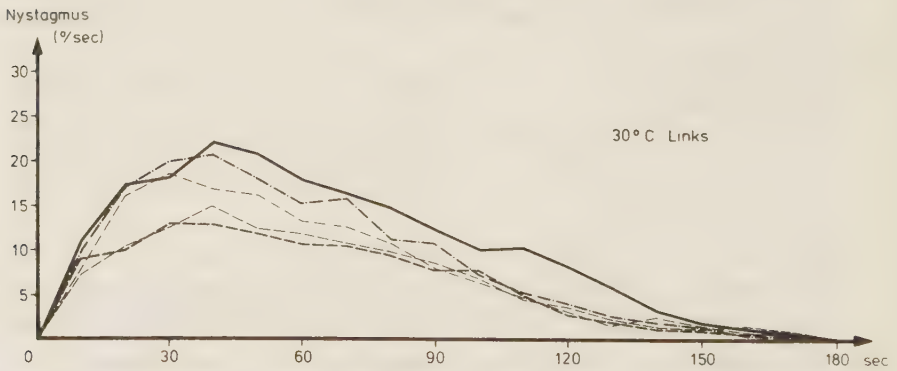
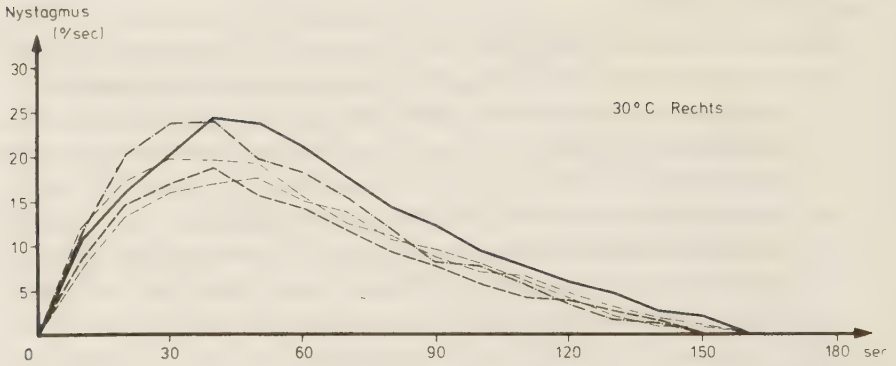
Die Ergebnisse werden in der Reihenfolge der obigen Fragestellung besprochen.

zu 1: Vergleich: Labyrinthreizung nach HALLPIKE - Thermostimulator bei gleicher Reizdauer und unbeschichtetem Thermostimulator

	Rechts		Links	
	H ₂ O	7%	H ₂ O	7%
36°C	30,5	23,0	29,5	20,7
44°C	45,85	32,1	45,14	31,5

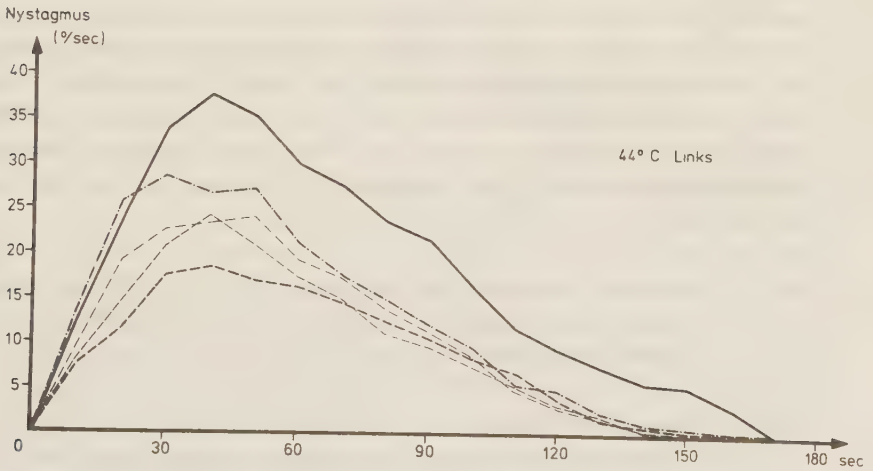
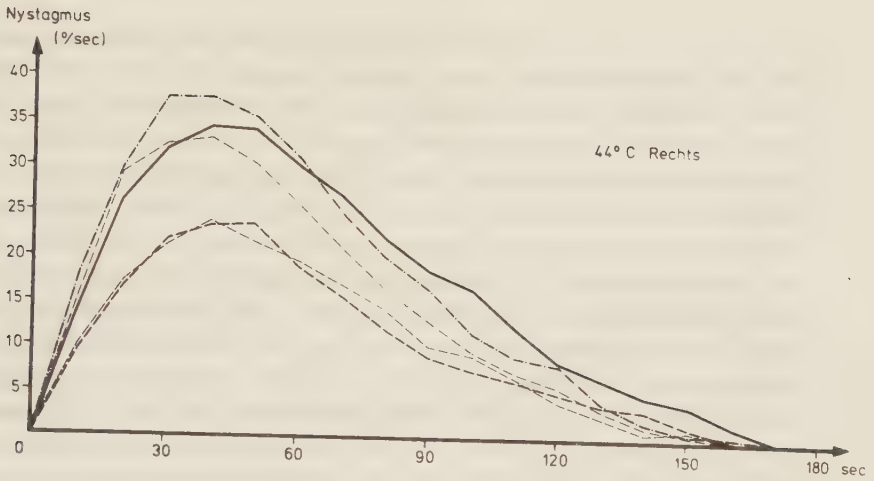
Tab. 10: Mittelwerte der maximalen Winkelgeschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase

Wie aus den Abb. 16 bis 19 ersichtlich ist, kann wegen des Temperaturwiderstandes von Silikonkautschuk mit dem Thermostimulator (dünne gestrichelte Linie) in 7% Sekunden keine so große Wärmemenge bis zu den Rezeptororganen gelangen, wie sie nötig wäre, um den Effekt einer Labyrinthreizung nach HALLPIKE (durchgezogene dicke Linie) zu erreichen. Am deutlichsten wird dieses



Reizdauer:	Wasser	30 Sekunden	—	
	Thermostimulator	30 Sekunden	- - - - -	(ohne Elektrodengelee)
			- · - · -	(mit Elektrodengelee)
	Thermostimulator	60 Sekunden	· · · · ·	(ohne Elektrodengelee)
			- · - · -	(mit Elektrodengelee)

Abb. 16 und 17: Verlauf des Nystagmus bei einer Reiztemperatur von 30°C



Reizdauer:	Wasser	30 Sekunden	—————	
	Thermostimulator	30 Sekunden	-----	(ohne Elektrodengelee)
			- - - - -	(mit Elektrodengelee)
	Thermostimulator	60 Sekunden	-----	(ohne Elektrodengelee)
			- - - - -	(mit Elektrodengelee)

Abb. 18 und 19: Verlauf des Nystagmus bei einer Reiztemperatur von 44°C

Ergebnis anhand der Differenz der maximalen Winkelgeschwindigkeit dargestellt (Tab. 11). Aus den Abbildungen und der Tabelle wird deutlich, daß bei Reizung mit 44°C höhere Werte erhalten werden als bei Reizung mit 30°C sowohl bei Wasser- als auch Thermostimulatoranwendung. Die Differenz ist allerdings bei Verwendung des Thermostimulators nicht so ausgeprägt. Das mag darauf zurückzuführen sein, daß die Schreckreaktion, die bei einer Wasserreizung mit 44°C auftritt, bei Thermostimulatorreizung nicht so ausgeprägt ist, da es ja wegen der Silikonkautschukschicht zu einer kontinuierlichen, nicht zu einer plötzlichen Wärmeentwicklung kommt. Bei Betrachtung der Variationskoeffizienten (Abb. 20) muß berücksichtigt werden, daß wir als Parameter die Winkelgeschwindigkeit der langsamen Phase des Nystagmus wählten, der die naturgemäß große Streubreite von Gleichgewichtsreaktionen besonders deutlich macht und daß die Anzahl der Versuchspersonen bei dieser Voruntersuchung mit 10 Probanden zu niedrig ist, um definitive Folgerungen aus den Werten zu ziehen. Aus den Abbildungen geht hervor, daß die Ergebnisse der Thermostimulatorreizung spätestens in der zweiten Hälfte des gemessenen Zeitabschnitts in jedem Fall eine etwas größere Streubreite aufweisen als die Wasserwerte, während sie sich in der ersten Hälfte ganz unterschiedlich verhalten.

zu 2: Vergleich: Labyrinthreizung nach HALLPIKE- Thermostimulator bei einer Reizdauer von 30 Sekunden (HALLPIKE) bzw. 60 Sekunden (Thermostimulator).

	Rechts		Links	
	H ₂ O	TS	H ₂ O	TS
30°C	30,5	- 3,7	29,5	- 5,0
44°C	45,85	+ 0,15	45,14	- 10,74

Tab. 11: Differenz der Mittelwerte der maximalen Winkelgeschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase

Die punktiert- gestrichelte dünne Linie zeigt in den Abb. 16 - 19 den Verlauf der Kurve der Thermostimulatorwerte. Am deutlichsten wird in Abb. 18, daß durch die Verdoppelung der Reizdauer eine wesentliche Verbesserung der Werte erreicht werden konnte. So liegen bei Abb. 18 während der ersten 40 Sekunden die Thermostimulatorwerte über denen des Wassers. In Abb. 16 ist das gleiche während der ersten 30 Sekunden der Fall. Am wenigsten deutlich wird diese Verbesserung in Abb. 19. In Tab. 11 werden die Differenzen der Mittelwerte zwischen Wasserwert und Thermostimulatorwert dargestellt. Im Vergleich zu Tab. 10 fällt auf, daß die Differenzen der Werte des Thermostimulators bei 44°C rechts und links stark unterschiedlich sind. Eine einleuchtende Erklärung dafür läßt sich nicht finden, warum nun links eine Differenz von - 10,74 besteht, während rechts sowohl bei Wasser- wie Thermostimulatorreizung praktisch keine Differenz vorhanden ist. Wird aber von diesem aus dem Rahmen fallenden Wert abgesehen, läßt sich erkennen, daß bei 44°C die Thermostimulatorwerte näher an die Wasserwerte herankommen als bei 30°C . Somit hat sich das Verhältnis der Differenzen zum Wasserwert umgekehrt. Denn waren bei der 30 Sekunden dauernden Thermostimulatorreizung die Differenzen bei 30°C niedriger als bei 44°C , so ist es jetzt umgekehrt: bei der 60 Sekunden dauernden Labyrinthreizung ist bei 30°C die Differenz zum Wasserwert größer als bei 44°C . Das ist wahrscheinlich auf die vigilanzsteigernde Wirkung des warmen Wassers zurückzuführen, die bei der 60 Sekunden dauernden Reizung auch über den Thermostimulator zum Tragen kommt. Was den Variationskoeffizienten betrifft, sind die Verhältnisse ähnlich wie bei der Thermostimulatorreizung von 30 Sekunden Dauer. Im Vergleich zur Wasserreizung ergibt auch die Thermostimulatorreizung mit 60 Sekunden Reizdauer, daß der Variationskoeffizient in jedem Fall spätestens nach der Hälfte des gemessenen Zeitabschnitts größer wird.

zu 3: Ergebnisse nach Beschichten des Thermostimulators mit Elektrodengelee im Vergleich zur Wasserreizung.

Wie aus Tab. 11 ersichtlich konnten wir durch Verlängerung der Reizdauer auf 60 Sekunden mit dem Thermostimulator ein der Wasserreizung nahekommendes Ergebnis erhalten. Nun beschichteten

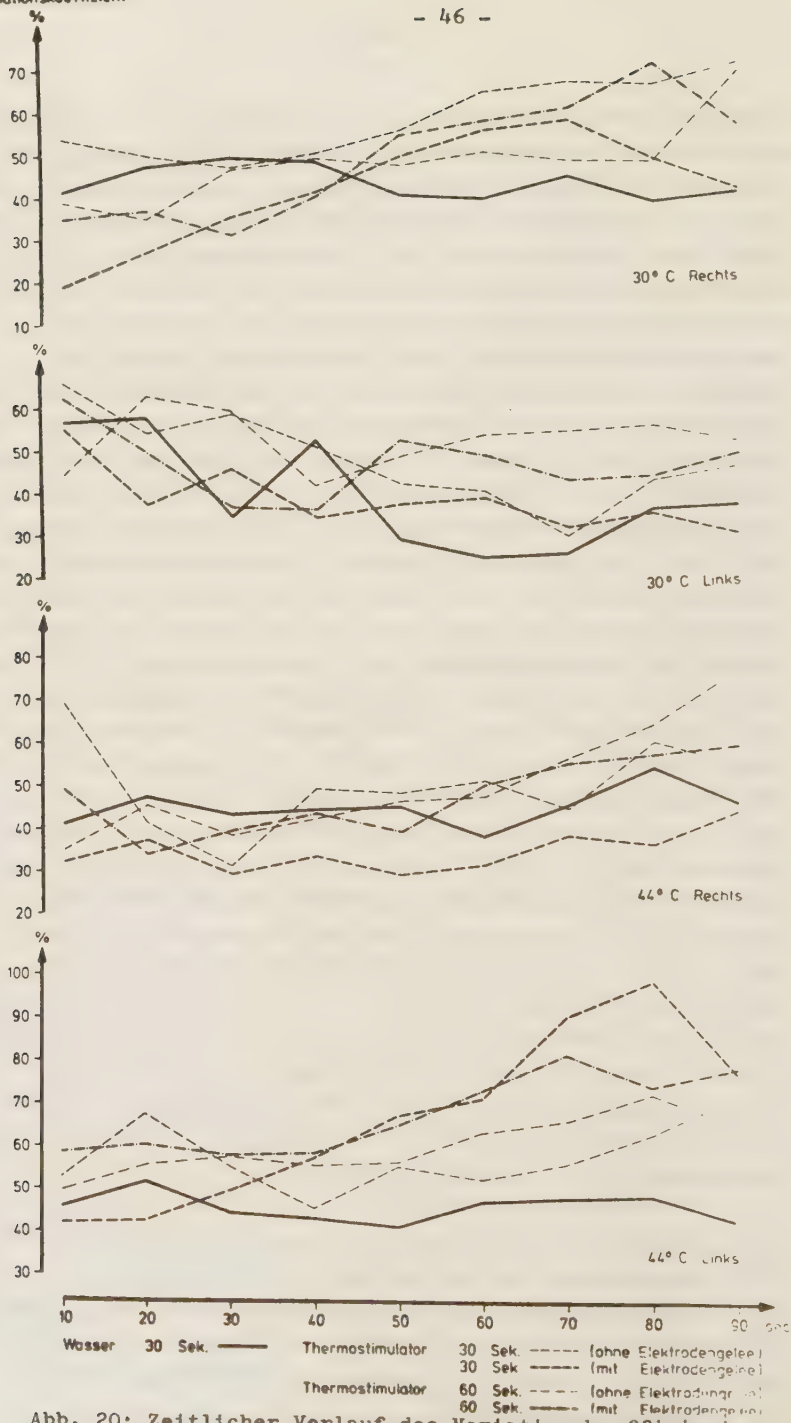


Abb. 20: Zeitlicher Verlauf des Variationskoeffizienten

wir den Thermostimulator noch mit Elektrodengelee und reizten so das Labyrinth einmal 30 Sekunden und einmal 60 Sekunden lang. Nach den Vorversuchen am künstlichen Gehörgang war zu erwarten, daß die so erhaltenen Werte noch näher an die Wasserwerte herankommen sollten als die Werte herangekommen waren, die ohne Beschichtung des Thermostimators gewonnen wurden.

	30°C		44°C	
	Rechts	Links	Rechts	Links
H ₂ O	30,5	29,5	45,85	45,14
TS Sek.	- 6,8	- 9,3	- 9,95	- 17,64
TS Sek.	- 0,4	- 0,3	+ 3,34	- 7,74

Tab. 12: Differenz der Mittelwerte nach Beschichten des Thermostimators mit Elektrodengelee; Parameter ist die Winkelgeschwindigkeit der langsamen Phase des Nystagmus

Bei Betrachtung der Abb. 16 - 18 bestätigt sich diese Erwartung für die Thermostimulatorreizung von 60 Sekunden Dauer, während sich bei der Reizung von 30 Sekunden Dauer weder relativ noch absolut eine deutliche Verbesserung einstellte. Am besten wird obiges Ergebnis aus Abb. 18 ersichtlich, wo durch Beschichten des Thermostimators mit Elektrodengelee und 60 Sekunden Reizdauer eine Kurve erhalten wird (punktiert- gestrichelte dicke Linie), die während der ersten Minute die Kurve der Wasserwerte (durchgezogene dicke Linie) deutlich übersteigt und auch deutlich über der Kurve liegt, die durch die 60 Sekunden dauernde Thermostimulatorreizung erhalten wurde, bei der der Thermostimulator nicht mit Elektrodengelee beschichtet war. Daß sich bei der 30 Sekunden dauernden Reizung trotz Beschichten mit Elektrodengelee keine Ergebnisverbesserung einstellte, dürfte darauf zurückzuführen sein, daß sich bei dieser kurzen Reizdauer die Widerstandssenkung durch die Elektrodengelee nicht auswirken konnte.

In Tab. 13 wurden in Prozent der Wasserwerte die Ergebnisse der Thermostimulatorreizung von 60 Sekunden Dauer zusammengefaßt, wobei auf eine Differenzierung: linkes Labyrinth - rechtes Labyrinth verzichtet wird. Dabei kommt trotz der etwas abweichenden Ergebnisse der 44°C- Reizung am linken Labyrinth sehr gut die nochmalige Verbesserung der Reaktionen durch Beschichten des Thermostimulators zum Ausdruck.

	H ₂ O	TS o.E.	TS m.E.
44°C	45,5°/sec ±100%	88,4%	95,4%
30°C	30,0°/sec ±100%	85,7%	98,5%

Tab. 13: Durchschnittliche maximale Winkelgeschwindigkeit bei Kalt- und Warmreizung in Prozent des Wasserwertes
(= 100%)

Bei den Variationskoeffizienten (Abb. 20 a - d) zeigt sich, daß durch das Beschichten mit einer Ausnahme auch eine Verringerung der Streubreite zu erreichen ist, wenigstens was die erste Hälfte des gemessenen Zeitraumes betrifft und das sowohl im Vergleich zum unbeschichteten Thermostimulator als auch zum reinen Wasserreiz (Ausnahme: Abb. 12 d Labyrinthreizung mit 44°C am linken Ohr).

Zusammenfassung:

Wie erwartet, mußten wir um mit dem Thermostimulator annähernd solche Werte wie bei einer Labyrinthreizung nach HALLPIKE zu erhalten, die Reizdauer verlängern bzw. die Temperatur von 30°C bzw. 44°C erniedrigen bzw. erhöhen. Durch Beschichten des Thermostimulators mit Elektrodengellee und Verlängerung der Reizdauer auf 60 Sekunden erreichten wir am ehesten die nach der Methode HALLPIKE - FITZGERALD gewonnenen Werte. Verschiedene

Gründe sprechen gegen eine Veränderung der Temperatur des Spülwassers: - im Handel befindliche Temperiergeräte können nicht benutzt werden

- 47°C liegt über der Schmerzschwelle
- durch Temperaturen über 45°C können viel leichter vegetative Begleiterscheinungen provoziert werden.

Für die weiteren Untersuchungen wählten wir deshalb als Reizmodus mit dem Thermostimulator eine Reizdauer von 60 Sekunden, wobei wir den Thermostimulator mit Elektrodengelee beschichteten.

Anhang: Maximale Winkelgeschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase bei den einzelnen Versuchspersonen

Versuchsperson Alter Geschlecht	44 °C					
	Rechts			Links		
	H ₂ O	TS o.E. 30" m.E.	TS o.E. 60" m.E.	H ₂ O	TS o.E. 30" m.E.	TS o.E. 60" m.E.
B.G. 26 J. ♂	51	32 32	56 54	77 61	30 54	55 74
B.L 25 J. ♂	45	34 40	48 45	40	30 38	41 39
B.F. 26 J. ♂	30 35	27 26	32 31	31 41	32 32	39 40
G.H. 32 J. ♂	51 60	48 38	70 66	57 73	53 43	77 45
H.D. 22 J. ♀	43 50	38 35	44 39	38	22 26	36 18
H.P. 25 J. ♂	70	48 32	60 49	54	38 37	39 30
Dr.Sch.33 J. ♂	45	35 19	42 48	39 48	27 33	36 48
W.Fr.30 J. ♂	72	60 70	87 87	41	21 32	22 30
W.P. 22 J. ♀	30 40	19 14	33 24	18	8 9	16 12
W.S. 20 J. ♀	20	18 15	21 17	14	14 11	13 8

Versuchs- person	30 °C					
	Rechts			Links		
	H ₂ O	o. E.		H ₂ O	o. E.	
Alter Geschlecht		TS 30" m. E.	TS 60" m. E.		TS 30" m. E.	TS 60" m. E.
B.G. 26 J. ♂	47	40 42	45 41	33 20	17 8	37 7
B.L. 25 J. ♂	27	23 17	29 24	30	24 19	27 29
B.F. 26 J. ♂	38	24 27	32 29	37 30	21 30	30 35
G.H. 32 J. ♂	24	20 24	28 25	21	14 22	23 25
H.D. 22 J. ♀	17	18 17	26 21	23	15 12	20 19
H.P. 25 J. ♂	53	31 34	48 35	30	38 25	39 37
Dr.Sch. 33 J. ♂	26	20 19	25 32	20	15 17	24 19
W.Fr. 30 J. ♂	44	25 25	29 24	70	28 44	58 45
W.P. 22 J. ♀	27	22 16	20 25	20	13 12	16 17
W.S. 20 J. ♀	16 16	14 9	17 12	20	17 17	18 12

2. Zielversuch an Normalpersonen (n=50)

a. Vergleich Labyrinthreizung nach HALLPIKE - Thermostimulator.

Bei der Voruntersuchung an 10 Versuchspersonen hatte sich schon angedeutet, daß bei Beschichtung des Thermostimators mit Elektrodengelee und einer Reizdauer von 60 Sekunden Ergebnisse zu erzielen waren, die am weitesten an die Werte herankamen, die aus einer Labyrinthreizung nach HALLPIKE resultierten. Dieser Befund sollte in einer fünfzig Normalpersonen umfassenden Versuchsreihe auf eine breitere Basis gestellt werden.

Methode

Es wurden 50 gesunde Versuchspersonen ausgesucht, bei denen durch Untersuchung und Anamnese ein Trommelfelldefekt oder eine andere Ohrerkrankung ausgeschlossen wurde. Jede Versuchsperson wurde 8 Labyrinthreizungen ausgesetzt, wozu wir zwei Termine ansetzten: Am ersten Termin spülten wir mit 30°C links und rechts je einmal nach HALLPIKE und einmal mit dem Thermostimulator und am zweiten Termin wurde das gleiche mit einer Wassertemperatur von 44°C wiederholt. Zwischen beiden Terminen lagen mindestens 48 Stunden. Damit sollten Einflüsse wie Habituation und Ermüdung möglichst gering gehalten werden, besonders weil wir als Parameter zur Auswertung des ENG die langsame Phase des Nystagmus gewählt hatten, die am besten mit der Reizstärke übereinstimmt und am empfindlichsten Störungen anzeigt (MITTERMAIER). Bei der direkten Reizung mit Wasser spülten wir 30 Sekunden lang, für die Reizung mit dem Thermostimulator wählten wir die Bedingungen, die wir bei den Vorversuchen als am besten eruiert hatten: Beschichtung des Thermostimators mit Elektrodengelee und Verdoppelung der Reizdauer auf 60 Sekunden. Zwischen zwei Reizungen wurde eine Pause von 10 Minuten eingelegt. Der Versuchsaufbau war der gleiche wie bei der Voruntersuchung.

Die Abb. 21 und 22 zeigen die Mittelwerte aller Untersuchungen an den 50 Normalpersonen bei Warmreizung (Abb. 21) und Kaltreizung (Abb. 22). Aus den beiden Abbildungen geht hervor, daß die Ergebnisse der Reizung mit dem Thermostimulator (gestrichelte Linie) während der ersten 30 bis 40 Sekunden, im ansteigenden Teil der Kurve vollständig an die Ergebnisse bei direkter Wasserstimulation (durchgezogene Linie) herankommen und sie teilweise sogar noch übertreffen.

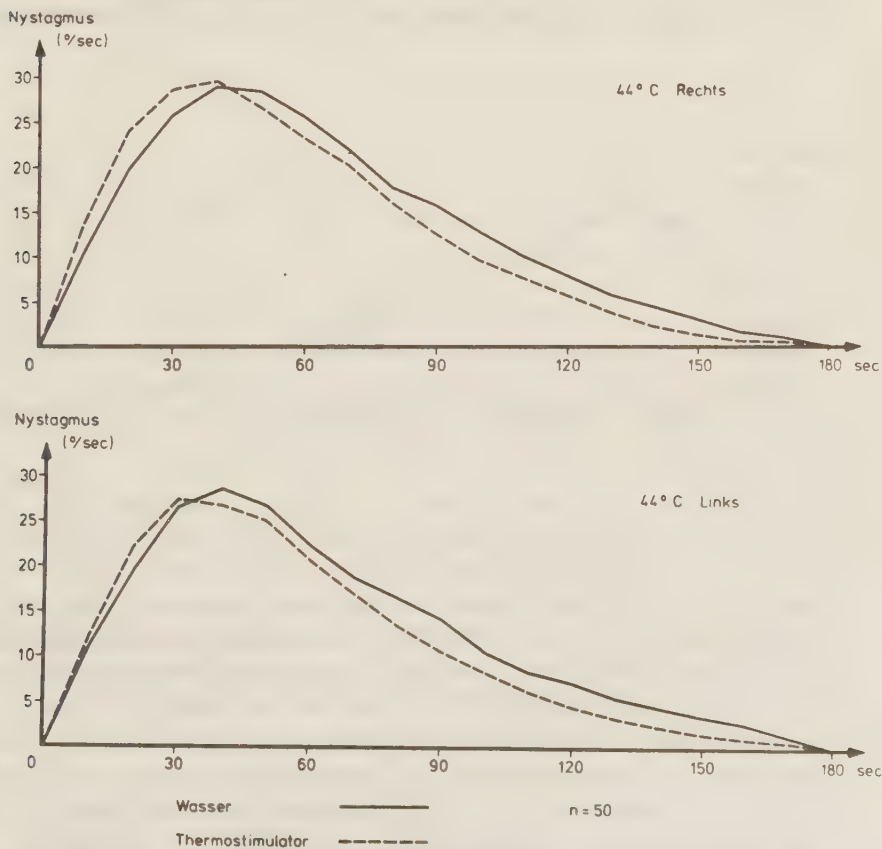


Abb. 21: Mittelwertkurven bei Reizung mit Wasser und mit dem Thermostimulator. Reiztemperatur 44°C

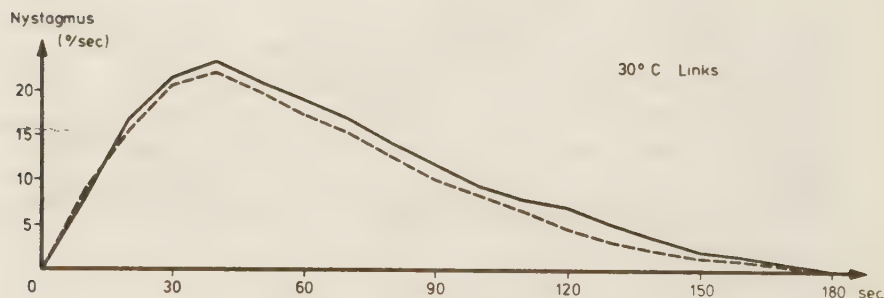
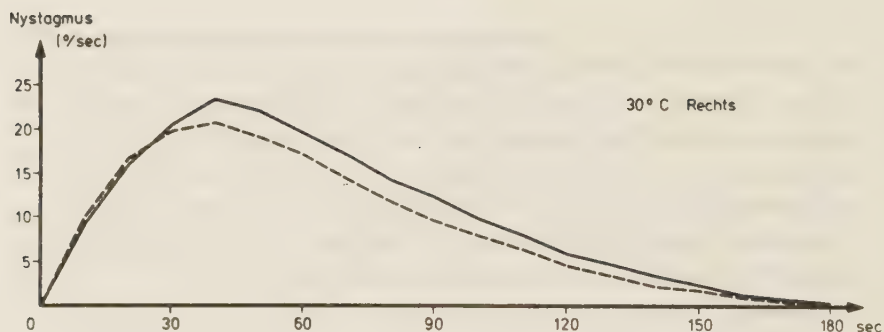


Abb. 22: Mittelwertkurven bei Reizung mit Wasser und mit dem Thermostimulator. Reiztemperatur 30°C

Aus Abb. 21 wird ersichtlich, daß das Nystagmusmaximum, hervorgerufen durch direkten Wasserreiz, mit dem Thermostimulator nur bei Warmreizung am rechten Ohr erreicht wurde, während im abfallenden Kurventeile die Werte der Wasserreizung in jedem Fall über den Werten liegen, die durch Reizung mit dem Thermostimulator erhalten wurden. Die einzige Möglichkeit, die Werte des Thermostimators auch im abfallenden Teil der Kurve an die Wasserreizungswerte anzugleichen, läge darin, die Reizdauer noch weiter zu verlängern, was aber nicht sinnvoll ist. Denn einmal werden bei noch längerer Reizdauer Patient und Untersucher unruhig und außerdem wird durch die Reizverlängerung

die klinische Aussagekraft nicht verbessert.

	30°C		44°C	
	H ₂ O	TS	H ₂ O	TS
Rechts	23,16 [±] 9,39	20,36 [±] 6,11	28,98 [±] 13,42	29,34 [±] 16,76
Links	23,08 [±] 10,39	21,88 [±] 7,98	28,78 [±] 15,42	27,19 [±] 15,97

Tab. 14: Mittelwerte der maximalen Winkelgeschwindigkeit

Beim Vergleich von Abb. 21 mit Abb. 22 zeigt sich weiter, daß durch den Warmreiz eine stärkere Nystagmusreaktion ausgelöst wird als durch den Kaltreiz, unabhängig davon, ob die direkte Wasserreizung oder die Reizung mit dem Thermostimulator durchgeführt wurde. Aus den Untersuchungen von CRABBE (1950) und MITTERMAIER (1965) geht hervor, daß die Stärke des Nystagmus unter anderem auch von der Wachheit abhängig ist. Beim Warmreiz wird eine größere Schreckreaktion als beim Kaltreiz hervorgerufen, wodurch die Wachheit beim Warmreiz größer ist als beim Kaltreiz. Daraus resultiert bei Warmreizung ein stärkerer Nystagmus.

Tab. 14 zeigt das Ergebnis der Untersuchung anhand der maximalen Winkelgeschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase. In Tabelle 15 wird der jeweilige Wert bei direkter Wasserreizung als 100% angesetzt und so das Ergebnis der Wasserreizung mit dem Thermostimulator verglichen.

	30°C		44°C	
	H ₂ O	TS	H ₂ O	TS
Rechts	100 %	-12,08%	100 %	+ 1,25 %
Links	100 %	- 5,2 %	100 %	- 5,52 %

Tab. 15: Relative Differenz zwischen Wasserwert und Thermostimulatorwert. Zugrundegelegt sind die Werte aus Tabelle 14

Es ist bekannt, daß die Stärke des Nystagmus bei allen Gleichgewichtsuntersuchungen von Person zu Person sehr verschieden ist, auch wenn sehr exakte Reize gesetzt werden, wie das bei der rotatorischen Reizung der Fall ist. Mit dieser Untersuchungsmethode fanden SCHERER und FRÖHLICH bei 100 Männern zwischen 18 und 24 Jahren eine Standardabweichung bis zu 50% um den Mittelwert. Durch ständige vestibuläre Beanspruchung, wie man sie etwa bei Piloten von Düsenmaschinen oder Eiskunstläufern findet, kann die Standardabweichung auf 32% reduziert werden. Bei den rotatorischen Reizen ist die hohe Standardabweichung durch zentralnervöse Vorgänge bedingt, welche beim kalorischen Reiz eine geringere Rolle spielen. Die Standardabweichung bei der Kalorisation wird mehr durch die anatomischen Gegebenheiten beeinflusst: das Ausmaß der Pneumatisation des Felsenbeins, die Länge und Weite des knöchernen Gehörgangs und die Dicke der Gehörgangshaut.

Die Abb. 23 bis 26 zeigen die Standardabweichungen der Werte bei direkter Wasserspülung (durchgezogene Linie) und bei Reizung mit dem Thermostimulator (gestrichelte Linie). Aus den obigen Ausführungen geht hervor, daß von der Reizung mit dem Thermostimulator keine Verringerung der Standardabweichung zu erwarten war, sondern das Augenmerk darauf gerichtet werden mußte, ob die Standardabweichung größer wird. Um die aus den Abb. 23 bis 26 ersichtlichen Differenzen meßbar zu machen, wurden die Variationskoeffizienten errechnet (Abb. 27, 28). Bei der Reiztemperatur von 30°C unterscheiden sich am rechten Ohr die Variationskoeffizienten aus der direkten Wasserreizung kaum von denen der Thermostimulatorreizung über die ganze gemessene Zeitdauer von 90 Sekunden. Die Werte für den weiteren Verlauf errechneten wir nicht, weil nach 90 Sekunden der Nystagmus gegen Null geht und bei der Analyse Fehlerquellen auftreten, die statistische Aussagen unmöglich machen. Am linken Ohr ist bei Reizung mit 30°C der Variationskoeffizient beim Thermostimulator von der 10. bis 40. Sekunde kleiner und erst ab der 50. Sekunde größer. Bei einer Reiztemperatur von 44°C sind auf beiden Ohren über die gesamte Zeit hin die Variationskoeffizienten bei Reizung mit dem Thermostimulator höher als bei Reizung mit Wasser.

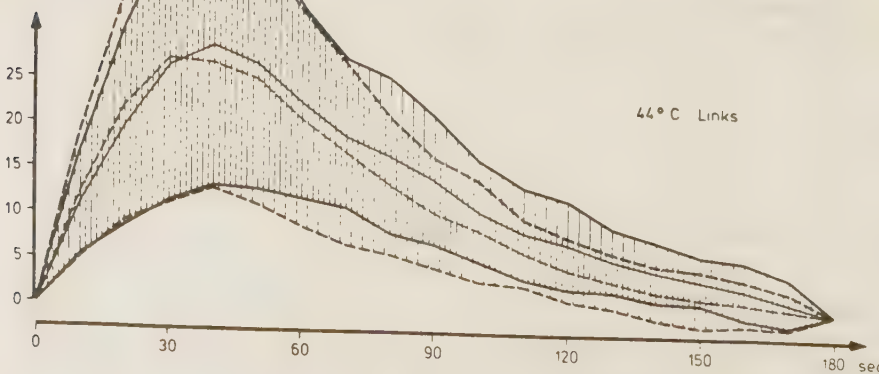
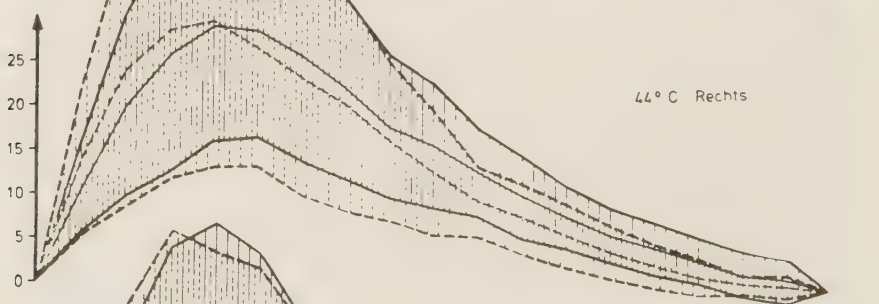
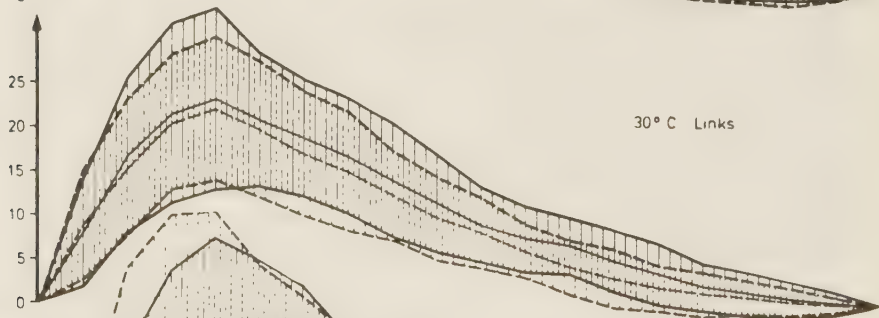
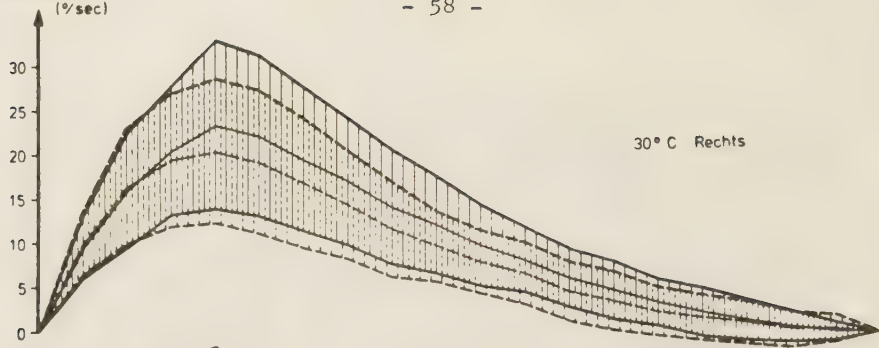
Aus den Ergebnissen geht hervor, daß bei 44°C sowohl bei Thermostimulatorreizung als auch bei Wasserreizung der Variationskoeffizient ca. 10% höher liegt als bei 30°C .

JONGKEES ist der Meinung, daß die Ergebnisse bei Warmreiz den merklichen Einfluß nur einer natürlichen Variablen aufweisen, die Resultate des Kaltreizes jedoch den Einfluß von wenigstens zwei verschiedenen Variablen zeigen. So macht sich seiner Meinung nach der Einfluß der vaskulären Reaktionen bei der Kältereizung stärker geltend als bei der Wärmereizung und von der Gehörgangswand ausgehende Sensibilitätsreflexe sollen den heterolateralen Nystagmus verstärken. Diese Befunde erhob JONGKEES bei einem Versuch an 60 normalen Personen, wobei er als Parameter die Dauer benutzte. Wird aber als Parameter die Winkelgeschwindigkeit der langsamen Phase des Nystagmus wie in unserem Falle benützt, entsteht eher der Anschein, daß der Warmreiz den Einfluß von mehr Variablen aufweist als die Reizung mit 30°C .

Die Ergebnisse bei den 50 Versuchspersonen zeigen, daß eine Verbesserung der Schwankungsbreite des Nystagmus durch die Reizung mit dem Thermostimulator wie erwartet nicht erzielt werden konnte. Der Variationskoeffizient liegt beim Thermostimulator im Schnitt um 10% höher, wobei der Grund darin zu suchen sein dürfte, daß zu den oben beschriebenen Faktoren noch der Faktor Bläschenmembran kommt. So kann sich bei einem engen Gehörgang der Thermostimulator nicht so weit ausdehnen, die Membran wird nicht so gedehnt wie in einem weiten Gehörgang und stellt u. U. einen größeren Temperaturwiderstand dar.

Nystagmus
(%/sec)

- 58 -



Standardabweichung

Wasser

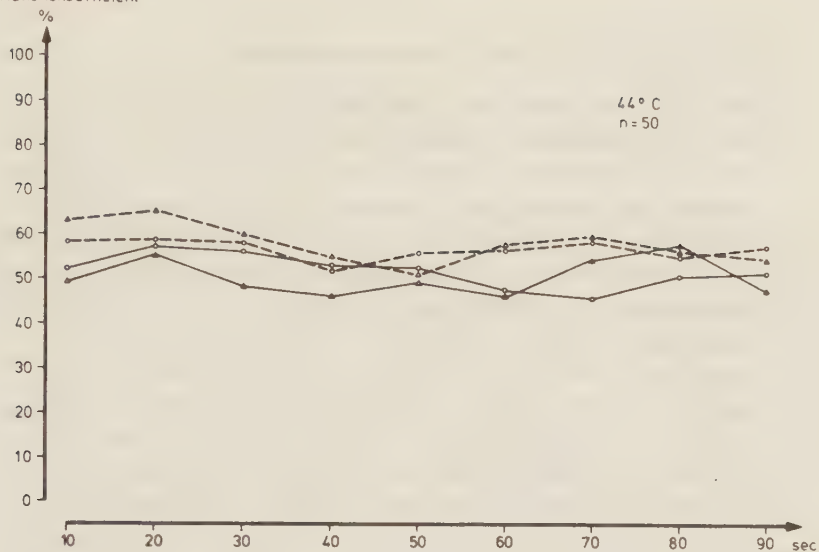
—

Thermostimulator

- - -

Abb. 23, 24, 25, 26

Variationskoeffizient



Variationskoeffizient

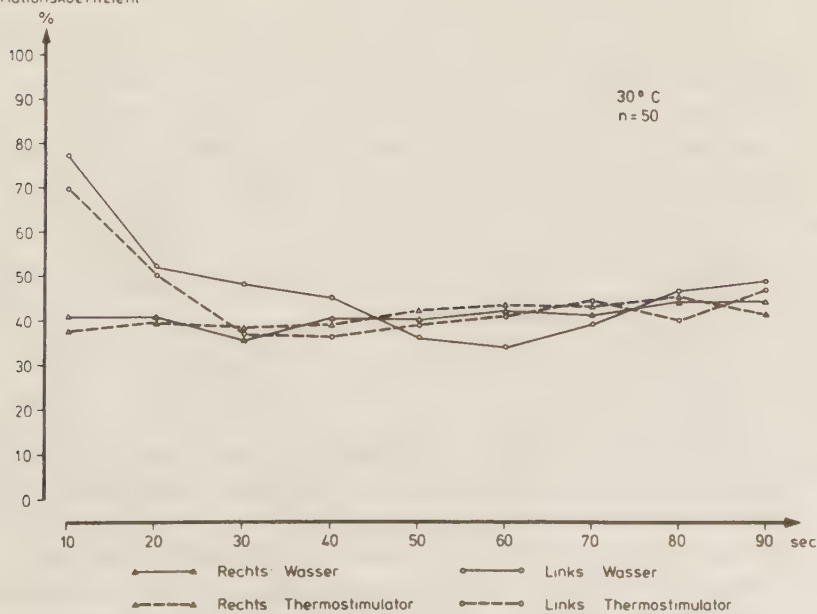


Abb. 27, 28

b. Untersuchungen zu Habituationsvorgängen

Nach NIEMEYER wurde der aus der Psychologie stammende Begriff "Habituation" bereits 1925 von DUNLAND in die Physiologie übernommen. HARRIS umriß ihn 1943 als Reaktionsabnahme auf wiederholte Reizung. THORPE sprach 1956 von einem "relativ langdauernden Nachlassen einer Reaktion infolge wiederholter Reizung" und KORNHUBER (1966) hat die Habituation als Reaktionsabnahme auf biologisch bedeutungslose, also "nur störende Reize" definiert. Obwohl Beziehungen zur Adaptation bestehen, unterscheidet sich die Habituation von dieser in mehrfacher Hinsicht: Während die Adaptation die Reaktion im Verlauf eines einzigen Reizes verändert, reduziert die Habituation die Reaktion bei wiederholten Reizen. Während der Ablauf der Adaptation genetisch determiniert ist, ist die Habituation ein individueller Lernprozeß mit der typischen Frequenz von Lernphase, Transfer und Behalten. Diese Phasen sind durch unspezifische äußere Einflüsse veränderbar.

Das wichtigste anatomische Korrelat der Habituation ist nach v. ALBERT die *Formatio reticularis*, die für die Bewußtseinslage und die Wachhaltefunktion das maßgebliche Projektionssystem mit Verbindungen zu allen anderen Anteilen des ZNS ist. Man findet in der *Formatio reticularis* zwei Anteile mit unterschiedlicher Arbeitsweise: die medialen Anteile bewirken eine Hemmung, die lateralen eine Aktivitätssteigerung auf einen bestimmten Reiz hin. So ist die *Formatio reticularis* die entscheidende zentrale Schaltstelle des vestibulären Systems.

Im Gegensatz zum rotatorischen Reiz, bei dem beide Labyrinth gleichzeitig erregt werden, und der somit einen physiologischen Reiz darstellt, ist der thermische Reiz unphysiologisch (TRINKER, MITTERMAIER), kann aber eine sicher einseitige Labyrinthreizung herbeiführen. Aber auch diese einseitige thermische Vestibularisreizung führt sofort zu einem Ungleichgewicht im Bereich der Vestibulariskerne. Lange ist die Frage diskutiert worden, ob eine diagnostische Kalt- bzw. Warmspülung zu einer Habituation führt. Während dies früher bejaht wurde (LIDVALL 1961; FORSSMANN 1963;

MENDEL 1962) haben neuere Untersuchungen (COLLINS 1965) mit Konstanterhaltung von Aufmerksamkeitslage und Fixationsausschaltung gezeigt, daß eine im üblichen Bereich durchgeführte thermische Reizung nicht zu einer langdauernden Habituation führen muß.

Da wir die Labyrinthreizung mit dem Thermostimulator 60 Sekunden lang durchführten, konnten wir theoretisch einen stärkeren Habituationsvorgang erwarten als nach einer Stimulierung von 30 Sekunden Dauer. Denn bei Reizung mit dem Thermostimulator hat das Vestibularsystem eine verdoppelte "Lernphase", was auch zu einer längeren Phase des "Behaltens" führen könnte. Deshalb schien es uns wichtig, auf solche Vorgänge zu achten. Dabei kam uns der Parameter, den wir zur Bewertung des ENG anlegten, sehr gelegen, denn nach MITTERMAIER ist die Winkelgeschwindigkeit der langsamen Phase des Nystagmus der Parameter, der auch sehr empfindlich ist gegen Einflüsse infolge von Habituationsvorgängen.

Wie sich bei den Voruntersuchungen an zehn Versuchspersonen gezeigt hatte, erreichte die Reizung mit dem Thermostimulator während der ca. ersten 40 Sekunden das Ergebnis der Wasserspülung, um dann bis zum Reaktionsende schwächer als bei einer Reizung mit Wasser zu verlaufen. Bei diesen Vorversuchen war immer in der gleichen Reihenfolge vorgegangen worden: Zuerst ein Wasserreiz, dann zwei Reizungen mit dem Thermostimulator ohne Beschichtung mit Elektrodengelee, zuletzt zwei Labyrinthreizungen, wobei der Thermostimulator mit Elektrodengelee beschichtet war. Bei diesen jeweils fünf Labyrinthreizungen hintereinander, bei denen die Thermostimulatorreizung immer am Schluß stand, ist ein Teil des Absinkens der Thermostimulatorkurve unter die Wasserkurve möglicherweise auf Habituationerscheinungen zurückzuführen. Um nun eine Beeinflussung der Ergebnisse durch Habituation weitgehend auszuschalten und den etwaigen Einfluß der Habituation statistisch zu überprüfen, wurden beim Hauptversuch vier Gruppen zu 10 Versuchspersonen gebildet, die jeweils nach einem bestimmten Reizschema untersucht wurden.

Gruppe	A	B	C	D
1. Reizung	links H ₂ O	links H ₂ O	links TS	links TS
2. Reizung	links TS	rechtsH ₂ O	links H ₂ O	links TS
3. Reizung	rechtsH ₂ O	links TS	rechts TS	linksH ₂ O
4. Reizung	rechts TS	rechts TS	rechtsH ₂ O	rechtsH ₂ O

Tab. 16: Gruppeneinteilung bei den einzelnen Labyrinthreizungen

Tab. 16 zeigt die Reihenfolge der Labyrinthreizungen bei den einzelnen Gruppen. Aus der Tabelle geht hervor, daß die Gruppen B und D für die Analyse von Habituationsvorgängen am besten geeignet sind, weil die beiden direkten Wasserreizungen bei Gruppe B am Anfang und bei Gruppe D am Schluß ausgeführt werden. Bei der statistischen Auswertung verzichteten wir auf eine Differenzierung: Rechts- Links und stellten jeweils der Reizung mit Wasser die Reizung mit dem Thermostimulator gegenüber. Ein Vergleich des Nystagmus nach direkter Wasserspülung mit dem Nystagmus nach Thermostimulatorspülung sollte bei diesen beiden Gruppen eine Habituation am deutlichsten erkennen lassen. So müßten bei Gruppe B die Werte des Thermostimators deutlich unter den Wasserwerten liegen, während bei Gruppe D das Verhältnis umgekehrt sein sollte.

Abb. 29 zeigt diesen Vergleich bei 30°C, wobei wie erwartet die Thermostimulatorkurve bei Gruppe B unter der Wasserkurve liegt; bei Gruppe D allerdings übertrifft die Thermostimulatorkurve nicht wie erwartet die Wasserkurve, sondern verläuft annähernd gleich.

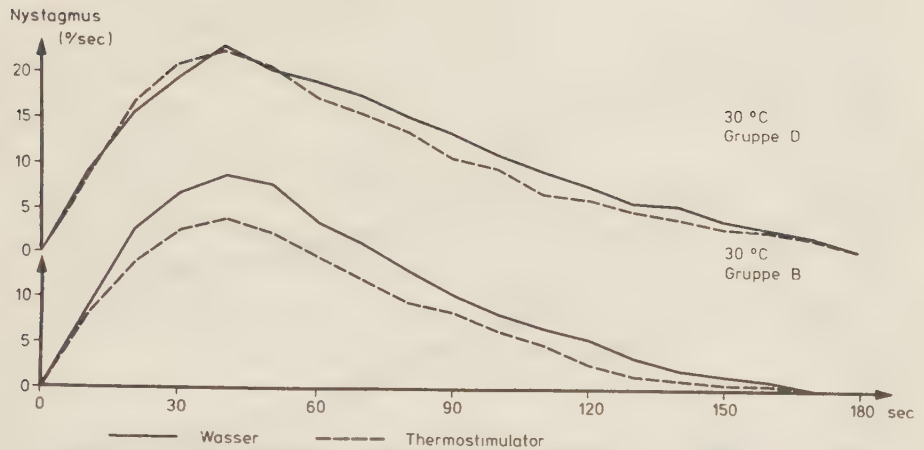


Abb. 29: Vergleich des Nystagmus bei Reizung mit 30°C zwischen Gruppe D und B (Gruppeneinteilung siehe Tab. 16)

Abb. 30 zeigt den Vergleich bei 44°C Reiztemperatur. Der Verlauf beider Kurven ist in Gruppe B und D ähnlich. Es ist im Gegensatz zur Kaltreizung mit 30°C also keine Habituation aufgetreten.

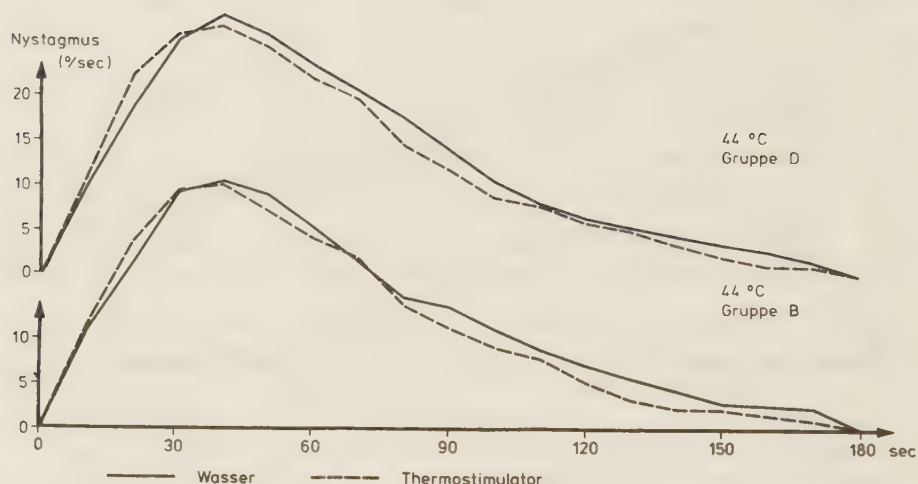


Abb. 30: Vergleich des Nystagmus bei Reizung mit 44°C zwischen Gruppe D und Gruppe B (Gruppeneinteilung siehe Tab. 16)

Um jedes zufällige Zustandekommen eines Ergebnisses auszuschließen, betrachteten wir die Werte des Gesamtkollektivs nicht nur unter dem Aspekt der Gruppeneinteilung, sondern auch unter dem Aspekt der Reihenfolge der Labyrinthreizungen. Aus Tab. 17 wird ersichtlich, wie wir dabei vorgehen. Als Beispiel nahmen wir die Reizung mit dem Thermostimulator bei 30°C , ohne in linkes oder rechtes Ohr zu differenzieren. Dieser Reizmodus taucht in Tab. 17 achtmal auf (schraffierte Felder) und zwar je zweimal als erster, zweiter, dritter und vierter Reiz.

	A	B	C	D
1. Labyrinthreizung	H ₂ O links	H ₂ O links	TS links	TS links
2. Labyrinthreizung	TS links	H ₂ O rechts	H ₂ O links	TS rechts
3. Labyrinthreizung	H ₂ O rechts	TS links	TS rechts	H ₂ O links
4. Labyrinthreizung	TS rechts	TS rechts	H ₂ O rechts	H ₂ O rechts

Tab. 17: Einteilung des Gesamtkollektivs unter dem Aspekt der Reihenfolge der Labyrinthreizungen

	H ₂ O 44°C	TS 44°C	H ₂ O 30°C	TS 30°C	Mittelwerte
1. Reiz	31,7	31,45	26,6	26,85	29,8
2. Reiz	32,95	34,45	28,2	27,45	30,75
3. Reiz	32,9	32,1	27,2	23,3	28,75
4. Reiz	33,2	29,75	26,85	24,1	28,25

Tab. 18: Mittelwerte der maximalen Winkelgeschwindigkeit der langsamen Phase des Nystagmus getrennt bei den einzelnen Methoden und als Mittelwert

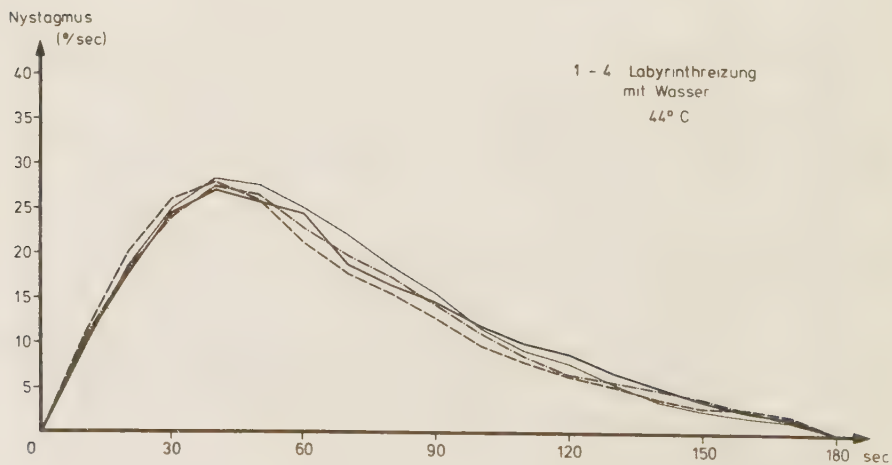
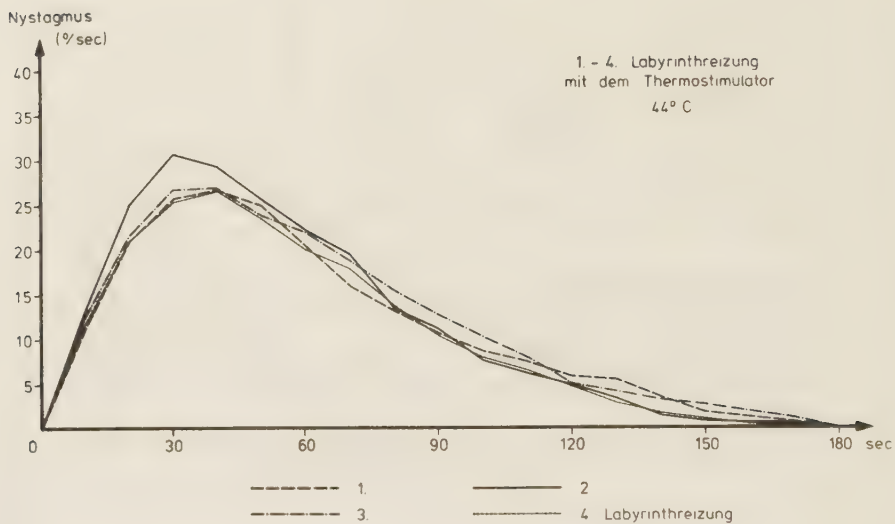


Abb. 31, 32

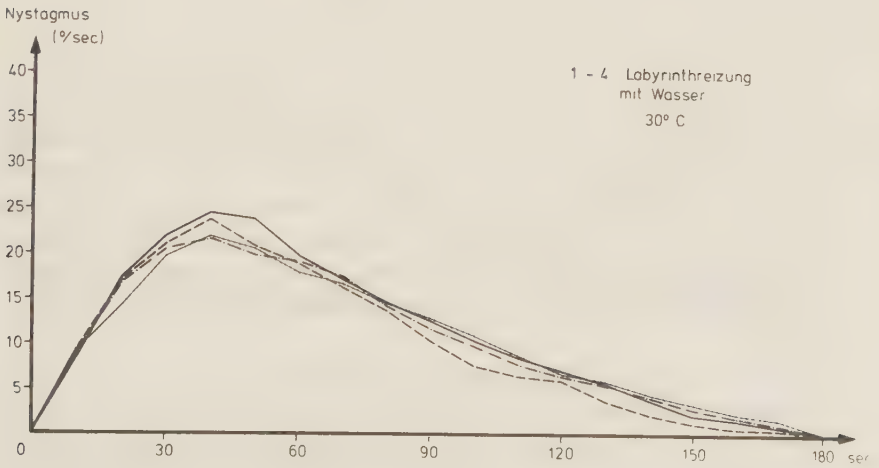
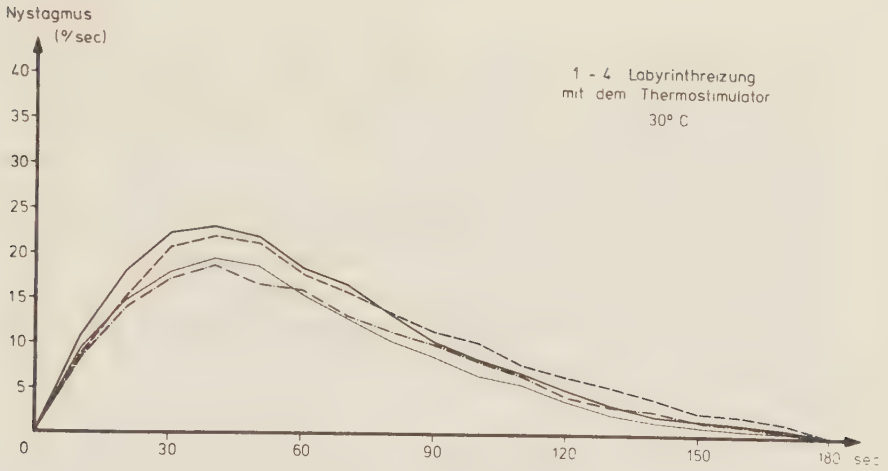


Abb. 33, 34

In Abb. 33 sind die Ergebnisse des obigen Beispiels graphisch dargestellt. Aus der Abbildung ist ersichtlich, daß der Nystagmus nach dem 1. und 2. Reiz stärker ist als nach dem 3. und 4. Reiz, was auf einen Habituationsvorgang hinweist. Bei der direkten Wasserreizung mit 30°C (Abb. 34) ist ein ähnlicher Verlauf zu erkennen, allerdings nicht so ausgeprägt. Bei 44°C Reiztemperatur ist ein Habituationseffekt aus den Abbildungen 31 und 32 nicht zu ersehen, doch zeigen die Mittelwerte der maximalen Winkelgeschwindigkeit, daß der Nystagmus der 3. und 4. Reizung schwächer ist als der Nystagmus der 1. und 2. Reizung.

In Tab. 18 sind die Mittelwerte der einzelnen Reizmethoden sowie die Mittelwerte aller Labyrinthreizungen aufgeführt. Dabei zeigt sich, daß die Mittelwerte bei der zweiten Reizung die höchsten Werte ergeben und nicht wie erwartet die Ergebnisse der 1. Reizung. Auch in den Abb. 31, 33 und 34 verlaufen die Kurven der zweiten Labyrinthreizung in der ersten Minute nach Ende der Spülung über den Kurven der ersten Labyrinthreizung. Dieser Befund dürfte durch einen Lerneffekt erklärbar sein.

In die Mittelwerte der Tab. 18 gehen sowohl die Ergebnisse der Labyrinthreizung mit Wasser als auch der Labyrinthreizung mit dem Thermostimulator ein. Werden diese beiden Untersuchungsmodus getrennt aufgeführt und wird gleichzeitig auf eine Differenzierung in 44°C und 30°C verzichtet, so erhalten wir die Werte in Tab. 19. Anhand dieser Tabelle können wir der Frage nachgehen, ob bei Reizung mit dem Thermostimulator die Habituationserscheinungen ausgeprägter sind als bei Reizung mit Wasser allein.

Auch aus Tab. 19 ist wieder der Lerneffekt ersichtlich, der dazu führt, daß die 2. Reizung, ob mit Wasser oder mit dem Thermostimulator durchgeführt, die höchsten Werte liefert. Während sich bei der 1. und 2. Labyrinthreizung Thermostimulator- und Wasserwerte kaum unterscheiden, wird bei der 3. und 4. Reizung doch deutlich, daß die Thermostimulatorwerte stärker als die

	H ₂ O	TS
1. Labyrinthreizung	29,15	29,15
2. Labyrinthreizung	30,53	30,95
3. Labyrinthreizung	30,05	27,7
4. Labyrinthreizung	30,00	26,92

Tab. 19: Mittelwerte der einzelnen Labyrinthreizungen
bei Verzicht auf Differenzierung in Labyrinth-
reiz bei 44°C bzw. 30°C

Wasserwerte abfallen. Aus Abb. 35 ist das ebenfalls erkennbar,
allerdings ist hier noch zwischen 30°C und 44°C differenziert.

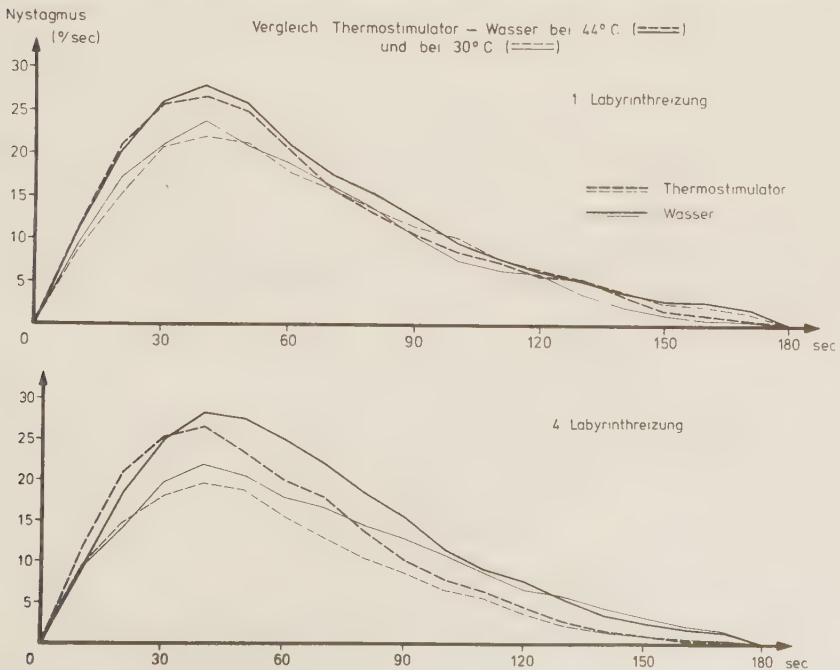


Abb. 35

Es zeigt sich also, daß eine mit dem Thermostimulator viermal hintereinander ausgeführte Labyrinthreizung zu einem Habituationsvorgang führt, während dies bei einer Wasserreizung nicht der Fall ist. Das ist wohl darauf zurückzuführen, daß bei einer Thermostimulatorreizung die Reizdauer und somit auch die "Lernphase" verdoppelt ist! Diese Habituationsvorgänge wirkten sich jedoch nicht an den Werten des Gesamtkollektivs aus, da die Reihenfolge der Labyrinthreizung im Untersuchungsgang bei jeder Gruppe von A bis D randomisiert war, um Habituationsvorgänge auszuschalten.

ZUSAMMENFASSUNG =====

Die große Bedeutung, die der kalorischen Labyrinthprüfung in der standardisierten Form von DIX, FITZGERALD und HALLPIKE zukommt, wird durch die Tatsache eingeschränkt, daß sie bei einem Defekt im Trommelfell nicht anwendbar ist.

Es waren deshalb von jeher Bemühungen im Gange, durch andere Verfahren eine kalorische Labvirthreizung durchzuführen. NEUMANN schlug schon 1900 vor, die Kälteeinwirkung von Äther auszunutzen, FRENZEL (1944) verwendete temperierte Luft. Aber sowohl bei der Verwendung von Luft sowie von Äther sind nur bedingt quantitative Ergebnisse zu erwarten. Mit dem "Thermostimulator" entwickelten wir eine Vorrichtung, die auch bei Patienten mit Trommelfelldefekt eine kalorische Prüfung erlaubt. Funktionsweise des Thermostimulators: In ein sehr dünnes Bläschen aus Silikonkautschuk wird Wasser der gewünschten Reiztemperatur geleitet und durch einen Schlauch mit einem kleineren Durchmesser wieder abgeführt. Es entsteht dabei ein Überdruck, der das im knöchernen Gehörgang liegende Bläschen aufbläht, so daß es sich an die Gehörgangswand anlegt und so eine optimale Überleitung der Reiztemperatur gewährleistet.

Bei Versuchen an Normalpersonen stellten wir fest, daß wir durch Verdoppelung der Reizdauer und Beschichtung des Thermostimulators mit Elektrodengelee die Ergebnisse der klassischen Wasserreizung erreichen konnten. Außer zu Routineuntersuchungen eignet sich der Thermostimulator auch sehr gut zu Langzeitreizungen, etwa um den Einfluß von Medikamenten auf den Nystagmus zu messen.

Anhang: Maximale Winkelgeschwindigkeit des Nystagmus bei
den einzelnen Versuchspersonen

Versuchs- person Alter Geschlecht	Wasser				Thermostimulator			
	Rechts		Links		Rechts		Links	
	44°C	30°C	44°C	30°C	44°C	30°C	44°C	30°C
B.G. 26 ♂	51	47	61	33	54	41	74	37
B.L. 25 ♂	45	27	40	30	45	24	39	29
B.F. 26 ♂	35	38	31	37	31	29	40	35
G.H. 32 ♂	51	24	57	21	66	25	45	25
H.D. 22 ♀	43	17	38	23	39	21	16	19
H.I. 25 ♂	70	53	54	30	49	35	30	37
Dr.S. 1.33 ♂	45	26	39	20	48	32	46	19
W.Pr. 30 ♂	72	44	41	70	87	24	30	45
W.P. 22 ♀	40	27	18	20	24	25	12	17
W.S. 20 ♀	20	16	14	20	17	12	8	12

Versuchs- Personen	Wasser				Thermostimulator			
	Rechts		Links		Rechts		Links	
	44°C	37°C	44°C	37°C	44°C	37°C	44°C	37°C
W.I. 24 ♀	25	19	28	26	22	20	24	19
St.G. 25 ♂	35	26	31	33	31	23	24	31
T.H. 25 ♂	19	24	36	21	19	26	26	23
Th.E. 23 ♀	21	21	17	24	22	20	21	20
Dr.P. 30 ♂	12	20	10	20	22	20	12	21
H.J. 30 ♂	24	21	25	17	20	15	16	19
Dr.S. 31 ♂	29	31	22	28	29	24	30	22
Br.J. 31 ♂	61	35	52	44	48	35	63	37
K.F. 25 ♀	26	31	39	33	33	26	42	37
Dr.K. 29 ♀	47	30	42	37	28	32	70	39

Gruppe 1 bei den Habituationsuntersuchungen

Versuchs- person	Wasser				Thermostimulator			
	Rechts		Links		Rechts		Links	
	44°C	30°C	44°C	30°C	44°C	30°C	44°C	30°C
B.Ch. 24 ♀	49	53	31	41	30	45	29	41
Dr.K. 30 ♂	24	31	28	22	21	30	26	24
Dr.W. 31 ♂	30	26	19	34	26	29	23	25
J. B. 27 ♀	23	23	19	16	22	21	19	17
Dr.M. 32 ♂	42	19	35	21	47	12	50	25
Fr.H. 49 ♀	26	13	27	14	33	11	38	8
Sch.K. 23 ♂	36	35	40	12	31	25	39	15
B. M. 23 ♀	23	27	35	26	31	24	31	18
B. K. 24 ♂	33	26	33	22	28	20	25	18
Sch.M. 17 ♂	44	39	55	40	26	24	58	22

Gruppe B bei den Habituationsuntersuchungen

Versuchs- person	Wasser				Thermostimulator			
	Rechts		Links		Rechts		Links	
	44°C	30°C	44°C	30°C	44°C	30°C	44°C	30°C
K. Fr. 29♂	29	36	21	36	32	34	35	31
Sch.G. 21♂	23	23	29	17	19	21	26	22
M. W. 21♂	45	30	36	30	41	32	32	27
P. D. 27♂	51	33	52	13	86	44	52	21
K. B. 35♂	41	29	24	23	50	24	28	32
B. A. 25♂	37	31	29	41	31	36	28	38
H. L. 24♂	15	20	30	26	18	17	20	27
M. R. 24♀	53	31	81	38	39	34	46	35
E. B. 26♀	25	13	37	34	14	22	21	20
B. G. 20♂	26	17	20	28	25	20	18	22

Gruppe D bei den Habituationsuntersuchungen

Versuchs- person	Wasser				Thermostimulator			
	Rechts		Links		Rechts		Links	
	Alter							
Geschlecht	44°C	30°C	44°C	30°C	44°C	30°C	44°C	30°C
M.H. 18 ♂	38	18	14	14	27	19	15	17
J.H. 19 ♂	26	30	64	43	25	31	73	39
P.M. 28 ♂	68	54	60	43	82	38	62	29
T.S. 28 ♂	34	25	37	20	24	20	34	24
H.J. 25 ♂	29	21	36	26	24	16	26	24
M.N. 15 ♀	15	23	15	21	15	25	18	24
H.M. 12 ♀	45	28	30	29	40	29	26	28
H.N. 16 ♀	24	30	35	21	28	35	25	21
B.M. 13 ♀	16	28	21	31	10	19	22	30
B.J. 22 ♂	30	17	17	24	29	21	22	24

Gruppe C bei den Habituationsuntersuchungen

LITERATUR

1. AANTAA, E.
Caloric test with air. Acta otolaryng. Suppl. 244 (1967) 82.
2. ALBERNAZ, P.L.M., M.M. GANANCA.
Use of air in vestibular caloric stimulation. Laryngoscope 82 (1972) 2198.
3. v. ALBERT, H.H.
Die vestibuläre Habituation. Klin. Wschr. 49 (1971) 121.
4. BARANY, R.
Untersuchungen über den vom Vestibularapparat des Ohres ausgelösten rhythmischen Nystagmus und seine Begleiterscheinungen. (Ein Beitrag zur Physiologie und Pathologie des Bogengangsapparates). Mschr. Ohrenheilk. 40 (1906) 191.
5. BARANY, R.
Weitere Untersuchungen über den vom Vestibularapparat des Ohres reflektorisch ausgelösten rhythmischen Nystagmus und seine Begleiterscheinungen. Mschr. Ohrenheilk. 41 (1907) 477.
6. BILLET, F.
An apparatus for caloric stimulation of the vestibular system by a flow of air. Pract. oto-rhinolaryng. 23 (1961) 338.
7. BREUER, J.
Über die Funktion der Bogengänge des Ohrlabyrinths. Wien. Med. Jahrbuch 4 (1874) 72. zit. bei Jongkees, L.B.W.: Über die Untersuchungsmethoden des Gleichgewichtsorgans.
8. BROWN-SEQUARD, C.
Course of lectures on the physiology and pathology of the central nervous system. Philadelphia 1860. zit. bei Jongkees, L.B.W.: Über die Untersuchungsmethoden des Gleichgewichtsorgans. Fortschr. d. Hals-Nasen-Ohren-Heilk. 1 (1953) 1.
9. BRÜNINGS, H.
Beiträge zur Theorie, Methodik und Klinik der kalorimetrischen Funktionsprüfung des Bogengangsapparates. Zschr. f. Hals-Nasen-Ohren-Heilk.- 63 (1911) 20.
10. BRUNNER, A., T.N. NORRIS.
Age-related changes in caloric nystagmus. Acta Otolaryng. 282 (1971) 5.
11. CAPPS, M.J., M.C. PRECIADO, M.M. PAPARELLA, W.E. HOPPE.
Evaluation of air caloric test as a routine examination procedure. The Laryngoscope 83 (1973) 1013.
12. CHRISTIAN, W.
Der Einfluß der Reizstärke auf Schlagzahl und Amplitude beim kalorisch ausgelösten Nystagmus. Zeitschrift für Laryngologie, Rhinologie, Otologie 33 (1954) 708.

13. DOHLMAN, G.
Physikalische und physiologische Studien zur Theorie des kalorischen Nystagmus. Acta Otolaryng. 5 (1925) 1.
14. DUNLAND, K.
J. comp. physiol. psychol. 5 (1925) 485., zit bei v. Albert, H.H.: Untersuchungen zur vestibulären Habituation. Heidelberg; Hüttig-Verlag (1969).
15. ESTELRICH, P.R.
Über die praktische Durchführung der Vestibularisprüfung mittels Wasser oder Gas. Elektronystagmographie, Edition Medizin und Pharmazie, Frankfurt (1975).
16. EVIATAR, A., L. EVIATAR.
A critical look at the "cold calorics". Arch. Otolaryng. 99 (1974) 361.
17. EVIATAR, A., V. GOODHILL.
A dry calorization method for vestibular function study. The Laryngoscope 78 (1968) 1746.
18. FISCHER, M.H.
Die Regulationsfunktion des menschlichen Labyrinths und die Zusammenhänge mit verwandten Funktionen. Ergebnisse d. Physiol. 27 (1928) 209.
19. FLUUR, E., L. MENDEL.
Habituation, efference and vestibular interplay. 1. Monaural caloric habituation. Acta Otolaryng. 55 (1962) 65.
20. FLUUR, E., L. MENDEL.
2. Combined caloric habituation. Acta Otolaryng. 55 (1962) 137.
21. FORSSMANN, B., N.G. HENRIKSSON, D.A. DOLOWITZ.
Studies on habituation of vestibular reflexes. 6. Habituation in darkness of calorically induced nystagmus, laterotorsion and vertigo in man. Acta Otolaryng. 56 (1963) 663.
22. FORSSMANN, B., N.G. HENRIKSSON, D.A. DOLOWITZ.
Studies on habituation of vestibular reflexes. 7. Habituation in light of calorically induced nystagmus, laterotorsion and vertigo in man. Acta Otolaryng. 56 (1963) 663.
23. FRENZEL, H.
Kalorische Prüfung mittels Wasserfüllung des Gehörgangs und mittels Luftgebläse. Zschr. f. Hals-Nasen-Ohren-Heilk. 50 (1943) 485.
24. FRENZEL, H.
Zur Frage einer Routinetechnik der thermischen Vestibulariserregung. HNO-Wegweiser (Berl.) 7 (1959) 353.

25. GATES, G.
The thermoelectric air stimulator. A new instrument for vestibular testing. Arch. Otolaryng. 92 (1970) 80.
26. HALLPIKE, C.S.
Die kalorische Prüfung. Pract. oto-rhinolaryng. 17 (1955) 302.
27. HALLPIKE, C.S.
The caloric tests. The Journal of Laryng. and Otol. 70 (1956) 15.
28. HO, T.
Nystagmus induced by pressure on the external auditory canal. J. oto-rhino-laryng. Soc. Jap. 71 (1968) 40.
29. JONGKEES, L.B.W.
Which is the preferable method of performing the caloric test. Arch. of Otolaryng. 49 (1949) 1.
30. JONGKEES, L.B.W.
Über die Untersuchungsmethoden des Gleichgewichtsorgans. Fortschr. d. Hals-Nasen-Ohren-Heilk. 1 (1953) 1.
31. JONGKEES, L.B.W.
Electronystagmographie. HNO 12 (1964) 325.
32. JUNG, R.
Allgemeine Neurophysiologie. In: Handbuch d. inneren Medizin. 4. Aufl. bd. V.S. 1326. Hrsg. G.H. v. Bergmann, W. Frey, H. Schwiak. Springer-Verlag, Berlin (1953).
33. KIRSTEIN, R., SCHÖPFER, H.
Störungen durch Augenlidschluß bei der Electronystagmographie. Arch. Hals-Nasen-Ohren-Heilk. Band 168 (1955) 215.
34. KLEINFELDT, D., D. DAHL.
Temperaturmessungen am menschlichen Bogengang nach thermischer Reizung. Acta Otolaryng. 68 (1969) 411.
35. KORNHUBER, H.
Physiologie und Klinik des vestibulären Systems. Arch. f. Ohr.-Nas.- u. Kehlk.- Heilk. 194 (1969) 111.
36. LIDVALL, H.F.
Vertigo and nystagmus reponses to caloric stimuli repeated in short intervals. Acta Otolaryng. 53 (1961) 33.
37. LIDVALL, H.F.
Specific and non-specific traits of habituation in nystagmus to responses to caloric stimuli. Acta Otolaryng. 55
38. MITTERMAIER, R.
Über die Beeinflussung des experimentell ausgelösten Nystagmus durch wiederholte Reizungen. Zschr. f. Laryng. Rhinol. Otol. 31 (1952) 360.

39. NEUMANN, G.
Zit. bei Mittermaier, R.: Die experimentellen Gleichgewichtsprüfungen. In: Hals-Nasen-Ohren-Heilk. von Berendes, J.; Link, R. u. Zöllner, F. Bd. III/1 S. 582. Thieme Verlag, Stuttgart (1965).
40. NIEMEYER, W.
Gibt es eine Habituation des Innenohres? HNO 20 (1972) 198.
41. PARKER, D.E., D.E. GIERKE.
Vestibular nerve response to pressure changes in the external auditory meatus of the guinea pig. Acta Otolaryng. 71 (1971) 456.
42. PHILLISZON, A.J.
The caloric test with ethyl chloride in patients with a dry perforation of the eardrum. Prac. Oto-rhino-laryng. 22 (1960) 219.
43. RUTTIN, E.
Funktionsprüfungen des Vestibularapparates. In: Handbuch der HNO-Heilkunde. Bd. VI, Hrsg. A. Denker u. O. Kahler. Springer-Verlag Berlin-München (1926).
44. SCHERER, H., G. FRÖHLICH.
Reactions to coriolis stimulations and postrotatory ENG-response. Acta Otolaryng. 74 (1972) 113.
45. SCHERER, H.
Thermoelektrische Reizung des Gleichgewichtsorgans. Arch. f. Ohr.- Nas.- u.- Kehlk.- Heilk. 205 (1973) 335.
46. TRINCKER, D.
Physiologie des Gleichgewichtsorgans. In: Berendes, J., Link, R. u. Zöllner, F.: Hals-Nasen-Ohren-Heilk. Bd. III/1, S. 311, Thieme-Verlag, Stuttgart (1965).

LEBENS LAUF

Name: Baur

Vorname: Georg

Geburtsdatum: 2.11.48

Geburtsort: Konradshofen, Landkreis Augsburg-West

Vater: Baur Albert, Einzelhandelskaufmann

Mutter: Baur Maria, geb. Singer, Hausfrau

Familienstand: verheiratet mit Baur Ilse, geb. Werker, Arzthelferin

Mit sechs Jahren kam ich in die einklassige Volksschule Konradshofen, blieb dort bis zur fünften Klasse und bestand dann die Aufnahmeprüfung für das Humanistische Gymnasium St. Stephan in Augsburg. 1969 machte ich dort nach neun Jahren Gymnasium das Abitur. Danach wurde ich für 18 Monate von der Bundeswehr eingezogen. Für das Sommersemester 1971 erhielt ich einen Studienplatz in Humanmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität in München, wo ich im Herbst 1976 auch das Staatsexamen machte.

Anschließend arbeite ich bis September 1977 als Medizinalassistent in Berlin. Zuerst bei Prof. Kallenbach am Wilmsdorfer Krankenhaus auf einer chirurgischen Abteilung, dann bei Prof. Palme am Zehlendorfer Krankenhaus auf einer internen Abteilung mit Schwerpunkt auf Gastroenterologie. Danach ging ich an das Stadtkrankenhaus Memmingen, wo ich auf der chirurgischen Abteilung bei Dr. Parhofer die letzten vier Monate meiner Medizinalassistenzeit ableistete.

Am 13.2.1978 erhielt ich die Approbation und arbeite seither als Assistenzarzt an der chirurgischen Abteilung des Stadtkrankenhauses Memmingen.

.....
G. Baur

